

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

LIBEREC 2011

ANNA ZACHAROVÁ

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ



Studijní program: B3107 Textil
Studijní obor: 3107R007 Textilní marketing

STANOVENÍ ODOLNOSTI VYBRANÝCH MATERIÁLŮ PROTI TEPELNÝM RIZIKŮM

RESISTANCE DETERMINATION OF SELECTED MATERIALS AGAINST THERMAL RISKS

Anna Zacharová

KTT

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Ondřej Novák - KNT

Rozsah práce:

Počet stran textu ...41

Počet obrázků21

Počet tabulek11

Počet grafů.....2

Počet stran příloh..10

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta textilní

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Anna ZACHAROVÁ**
Osobní číslo: **T08000478**
Studijní program: **B3107 Textil**
Studijní obor: **Textilní marketing**
Název tématu: **Stanovení odolnosti vybraných materiálů proti tepelným rizikům**
Zadávací katedra: **Katedra textilních technologií**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Vypracujte rešerši textilních materiálů vhodných jako ochrana proti tepelnému riziku, zaměřte se zejména na odolnost proti sálavému teplu. Teoreticky popište parametry ovlivňující účinnost ochrany.
2. Proveďte stanovení odolnosti proti sálavému teplu na materiálech používaných pro výrobu rukavic dle předepsaných norem.
3. Získané výsledky vhodně uspořádejte do databáze materiálů a navrhnete a ověřte vlastní účinnou skladbu materiálů.
4. Pokuste se navrhnout jiný než dosud užívaný materiál, který by zvýšil účinnost skladby materiálu proti sálavému teplu.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

cca 30 stran

Forma zpracování bakalářské práce:

tištěná

Seznam odborné literatury:

- [1] Česká technická norma, ČSN EN 659+A1 83 2366, Ochranné rukavice pro hasiče.
- [2] Česká technická norma, ČSN EN 407, 83 2326, Ochranné rukavice proti tepelným rizikům (teplu a/nebo ohni).
- [3] Česká technická norma, ČSN EN ISO 6942, 83 2744, Ochranné oděvy - ochrana proti teplu a ohni - Zkušební metoda: hodnocení materiálu a kombinací materiálu vystavených sálavému teplu.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Ondřej Novák

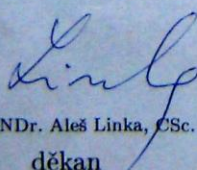
Katedra netkaných textilií

Datum zadání bakalářské práce:

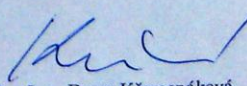
30. října 2010

Termín odevzdání bakalářské práce:

2. května 2011


prof. RNDr. Aleš Linka, CSc.
děkan




doc. Dr. Ing. Dana Křemenáková
vedoucí katedry

V Liberci dne 30. října 2010

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

V Liberci dne 12.5.2011

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych chtěla poděkovat panu Ing. Ondřejovi Novákovi za odborné konzultace a vedení při zpracování této bakalářské práce. V neposlední řadě děkuji své rodině a přátelům za psychickou podporu.

ANOTACE

Tato bakalářská práce je zaměřená na stanovení odolnosti vybraných materiálů proti tepelným rizikům, zejména proti sálavému teplu. Získané údaje budou využity výrobcem při navrhování a konstrukci nových účinných skladeb. Na úvod je krátká rešerše textilních materiálů používaných pro výrobu hasičských rukavic, která je zaměřená především na tepelnou odolnost. Dále jsou popsána tepelná rizika a mechanismy přenosu tepla v textilních vrstvách. V experimentální části jsou popsány provedené testy materiálů a z nich získané výsledky jsou uspořádány do databáze. Taktéž jsou hledány souvislosti mezi tepelnou odolností materiálů a vybranými fyzikálními parametry. V závěru bakalářské práce je navrhnutá vlastní účinná skladba materiálu na výrobu hasičských zásahových rukavic a také materiál, který by zvýšil ochranu proti sálavému teplu.

KLÍČOVÁ SLOVA:

hasičské rukavice, zásahové rukavice, sálavé, radiační, tepelná odolnost

ANNOTATION

This bachelor thesis is focused on determining the resistance of selected materials against the thermal risks, especially against radiant heat. Collected data will be used for the designing and construction of new effective structures by the manufacturer. In the introduction a short retrieval of the textile materials for manufacturing of fire-fighting gloves, focused mainly on heat resistance, is mentioned. Further the risks of heat and heat transfer mechanisms in textile deposits are described. In the experimental section the obtained material test results are described and the outcomes are arranged in a database. The relation between the thermal resistance of materials and selected physical parameters are also sought. At the end of the thesis the own structure of the active material for the production of fire-fighting gloves, which would improve protection against radiant heat, is designed.

KEY WORDS:

fire-fighting gloves, rescue gloves, radiant, radiation, heat resistance

Obsah

Prohlášení	3
PODĚKOVÁNÍ	4
ANOTACE	5
1 Úvod	8
2 Rešerše	9
2.1 Skladba hasičských rukavíc	9
2.1.1 Dvojvrstvé prevedenie rukavice	9
2.1.2 Štvorvrstvé prevedenie rukavice	9
2.2 Materiály používané pre výrobu hasičských rukavíc	11
2.3 Mechanizmus prestupu tepla	19
2.3.1 Vedenie tepla (Kondukcia)	19
2.3.2 Prúdenie tepla (Konvekcia)	20
2.3.3 Radiácia	21
2.4 Ochrana proti teplu a ohni u ochranných odevov – metodika skúšania a hodnotenia	23
2.4.1 Kontaktné teplo	24
2.4.2 Konvenčné teplo	24
2.4.3 Radiácia	25
3 Experimentálna časť	27
3.1 Popis meracích zariadení	27
3.1.1 Zariadenie ALAMBETA	27
3.1.2 Priebeh skúšky na prístroji ALAMBETA	29
3.1.3 Meracie zariadenie na odolnosť proti sálavému teplu	29
3.1.4 Priebeh skúšky na prístroji sálavé teplo	32
3.1.5 Popis skúšaných vzorkou	35
4 Výsledky	36
4.1 Hodnoty z prístroja ALAMBETA	36
4.2 Hodnoty z prístroja na sálavé teplo	39
4.3 Štatistické posúdenie vplyvov vybraných fyzikálnych parametrov na odolnosť voči sálavému teplu	40
4.4 Návrh vlastnej skladby a materiálu	45
5 Diskusie a záver	46

6	Použitá literatúra	49
7	Príloha.....	53

1 Úvod

Hasiči môžu byť behom zásahu vystavený rôznym rizikám, predovšetkým tepelným. K ochrane pred týmito rizikami slúži vhodne konštruované produkty, pričom materiál použitý pre ich výrobu musí byť schopný odolávať vysokým teplotám po predpísanú dobu. K týmto produktom patria aj zásahové hasičské rukavice, ktoré dovoľujú hasičom dlhšie pracovať v podmienkach, ktoré sú náročné na tepelné riziká. Parametre hasičských rukavíc podliehajú prísny technickým normám a predpisom, aby požiadavky na ne kladené dokázali s rezervou splniť.

Hlavné ciele a tým i realizovaný postup práce bude zhrnutý nižšie.

Na úvod práce bude popísaná skladba rukavíc pre zaistenie požadovaných vlastností, kde budú popísané funkcie jednotlivých vrstiev. Ďalej bude uvedená rešerše materiálov zameraná na ich tepelné vlastnosti. Záver rešerše sa bude venovať mechanizmom prestupu tepla s dôrazom na prenos tepla sálaním.

V experimentálnej časti práce bude vykonaná skúška obdržaných materiálov na prístroji ALAMBETA. Získané výsledky budú porovnávané s odolnosťou materiálov voči sálavému teplu na prístroji podľa vlastnej modifikácie a bude hľadaný vzájomný vplyv za pomoci analýzy dát. Zo získaných výsledkov bude navrhnutá a overená vlastná materiálová skladba s vysokou odolnosťou voči sálavému teplu, ktorá sa bude líšiť od skladby doterajšej a taktiež navrhnutý vlastný materiál, ktorý by mohol byť pre zvýšenie odolnosti voči sálavému teplu účinný.

2 Rešerše

Táto časť rešerše je zameraná na súčasne používané materiály pre výrobu hasičských rukavíc odolných proti sálavému teplu. Každý textilný materiál používaný na výrobu hasičských rukavíc má dobrú odolnosť voči teplu a môže mať i špeciálne úpravy, ktoré zlepšujú ich vlastnosti. U vybraných textilných materiálov budú popísané ich vlastnosti, ktoré majú úzky vzťah k tepelnej odolnosti.

2.1 Skladba hasičských rukavíc

Hasičské rukavice sa skladajú z niekoľkých vrstiev materiálu. Ide o materiálový sendvič, ktorý zabezpečuje vysokú ochranu proti sálavému teplu, vysokú odolnosť proti mechanickému namáhaniu ako je prerezanie, oder, prepichnutie a taktiež má vysokú odolnosť proti prenikaniu chemikálií a vody. Materiálový sendvič môže byť buď 2vrstvový alebo 4vrstvový.

2.1.1 Dvojvrstvové prevedenie rukavice

Rukavice s dvojitou vrstvou sú určené pre dobrovoľných hasičov, ktorí majú za úlohu odstránenie následkov požiaru alebo dopravnej nehody. Materiál používaný na výrobu týchto rukavíc je obvykle kevlarový úplet, ktorý sa nachádza vo vnútri rukavice. Vrchný materiál rukavice je najčastejšie hovädzina a to buď štiepenka alebo lícovka, ktorá má špeciálne upravené vlastnosti potrebné na zvýšenie ochrany proti sálavému teplu.

2.1.2 Štvorvrstvové prevedenie rukavice

Rukavice, ktoré majú štvoritú vrstvu materiálu sú určené ako zásahové rukavice, ktoré musia odolávať vysokým teplotám a mechanickým rizikám. I napriek štvoritej vrstve materiálu si tieto hasičské rukavice zachovávajú vynikajúcu úchopovú schopnosť. Skladba hasičskej rukavice je zložená z podšívky, membrány, ochrannej textílie a povrchovej vrstvy (obr. 1).



Obr. 1 Zloženie hasičskej rukavice [19]

1.vrstva – podšívka

Prvá vrstva je v priamom kontakte s pokožkou. Na obr. 1 je táto vrstva označená číslom 4. Materiál použitý v tejto vrstve by mal mať príjemný omak, aby nedráždil pokožku, antibakteriálnu odolnosť, priedušnosť a vysokú schopnosť odvádzať pot z ruky. Zároveň sa pri vysokých teplotách nesmie taviť a vznietiť sa. Do tejto 1.vrstvy sa najviac používajú materiály ako sú bavlna, modakryl, Kevlar, CoolMax a Twaron alebo zmes bavlny a modakrylu. (viz. Príloha)

2.vrstva – membrána

Druhou vrstvou smerom od pokožky ruky je membrána. Na obr. 1 je táto vrstva označená číslom 3. Táto vrstva je vysoko priedušná, prepúšťa vodné páry a pritom neprepúšťa vodu. Pre ruku vytvára táto membrána bariéru, ktorá neprepustí baktérie, vírusy a choroboplodné zárodky, ktoré sa prenášajú napr. krvou. Membrány neovplyvňujú úchopovú schopnosť rukavíc, pretože majú veľmi malú hrúbku. Membrány môžu byť dodané ako metráž alebo sú v tvare rukavice (viz. kapitola 7 Príloha), ktoré sa pri výrobe vkladajú do hasičských rukavíc a následne sa prišijú. Vhodným materiálom pre 2.vrstvu je polyuretanová membrána alebo membrána z teflónu. (viz. Príloha)

3.vrstva – medzivrstva

Tretou vrstvou smerom od pokožky je textília, ktorá zvyšuje tepelnú a mechanickú odolnosť hasičských rukavíc. Na obr. 1 je táto vrstva označená číslom 2. Mechanická odolnosť môže byť napr. proti prepichnutiu alebo prerezaniu. Táto textília je objemná a obsahuje veľké množstvo vzduchu. Textília dodáva hasičským rukaviciam izolačné vlastnosti. Pri výrobe rukavíc je dôležité umiestnenie tejto vrstvy medzi membránu a vrchným materiálom, pretože pri nesprávnom umiestnení znižuje životnosť membrány. Na túto vrstvu sa môže použiť materiál vyrobená z aramidovej textílie, aramidovej netkanej recyklovanej textílie, uhlíkových vlákien, zmes para-aramidových vlákien a inej látky, zmes kevlar a nomex, zmes uhlíkové vlákna a para-aramidové vlákna a iná látka. (viz. Príloha)

4.vrstva – vrchný materiál

Posledný materiál, ktorý je vrchný materiál hasičskej rukavice, by mal mať veľmi vysokú odolnosť proti sálavému teplu, mechanickým rizikám, nemal by prepúšťať tekutiny (vodu, olej, chemické látky). Na obr. 1 je táto vrstva označená číslom 1. Táto vrstva chráni ostatné vrstvy, ktoré sa nachádzajú v rukavici. Ako materiál sa môže použiť hovädzia štiepenka alebo lícovka, kozina alebo Tech-tan. Tieto kože majú následne špeciálne úpravy, ktoré zvyšujú ich odolnosť proti sálavému teplu. Ďalej sa môžu použiť materiály ako sú Nomex, Kevlar, Kermel, PBI, kombinácia PBI a netkané textília. (viz. Príloha) [18,19]

2.2 Materiály používané pre výrobu hasičských rukavíc

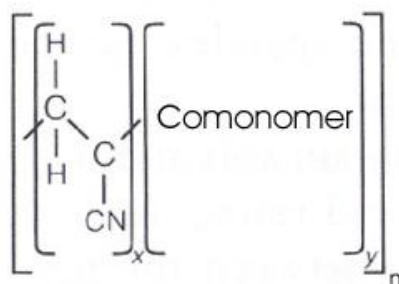
Bavlna

Jedná sa o prírodné vlákno, ktoré je získavané zo semien. Bavlna je veľmi jemné vlákno, ktoré má bielu alebo slabo žltú až šedú farbu. Hrúbka jedného zrelého vlákna je cca 5-6µm. Pevnosť tohto vlákna za sucha je 2-5cN/dtex a za mokra je o 100 až 120% pevnosť vyššia ako za sucha. Ťažnosť vlákna za sucha je 6-10% a za mokra je 100-110% ťažnosti ako za sucha. Toto vlákno je citlivé na mechanické vlastnosti. Pri zmene vlhkosti 65% dochádza k zmene pevnosti a ťažnosti o 4%. Pri vysokej vlhkosti sa toto vlákno deformuje. Čistá bavlna má LOI 18% ale po potrebnej úprave dosahuje LOI cca 20%. Ide o horľavé vlákno. Bavlna je stabilná pri krátkodobom pôsobení do teploty 120°C. Počas piatich hodín pri teplote 120°C začína bavlna žltnúť. Zhnednutie bavlny nastáva pri teplote 150°C. Pri teplote 200 až 280°C nastáva úplný rozklad bavlny.

Bavlna sa pri výrobe hasičských rukavíc používa do 1.vrstvy – podšívka, pretože má vysokú schopnosť odvádzať pot z ruky a má dobré omakové vlastnosti. [1,2,3,4,5]

Modakryl

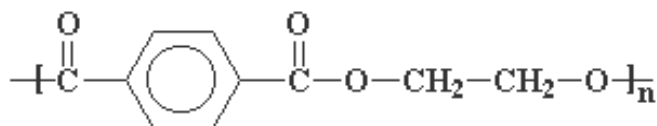
Ide o kopolymer, kde je 50-85% polyakrylonitrilu a ostatnú zložku tvorí metakryl. Prítomnosť metakrylu je použitý z dôvodu ľahšieho farbenia vlákna. Modakryl má nízku tepelnou vodivosť a je nehorľavý pretože LOI je 26,8%. Pri teplote väčšej ako je 160°C začína vlákno žltnúť, hnednúť alebo môže černieť. Pri teplote 235°C tento materiál mäkne. U teploty 253°C sa materiál zrazí o 5% a pri teplote 260 sa zrazí o 10%. Modakryl sa používa v rukavici do 1.vrstvy – podšívka lebo má dobrú navlhavosť a príjemný omak. [1,6,7,8]



Obr. 2 Chemické zloženie Modakryl (akrylonitril) [7]

Polyester

Toto vlákno má dobrú schopnosť zotavenia, vysokú pružnosť, vysokú objemnosť a má dobrú odolnosť voči chemikáliám. Polyester má LOI 20,6%, nízku tepelnú vodivosť a pri teplote 120 až 130°C si zachováva svoju odolnosť a nestráca na pevnosti. Pri teplote 180°C jeho pevnosť klesá na 50% ale až za niekoľko dní. Polyester mäkne pri teplote 230°C a začína sa taviť pri 258°C. Polyester je v rukavici ako 1.vrstva – podšívka pretože rýchlo odvádza vlhkosť z ruky a udržiava ruku v suchu. [1,6,8,9,10]

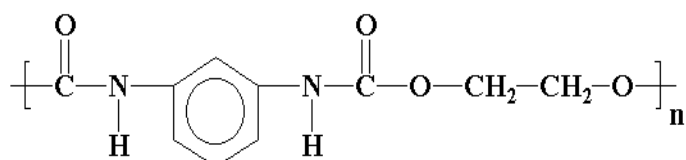


Obr. 3 Chemické zloženie Polyester [9]

Polyuretanová pena

Polyuretan má veľmi dobré tepelné izolačné vlastnosti. Peny sa vyrábajú ako mäkké alebo tvrdé. Mäkké polyuretanové peny majú hustotu od 15 do 70 kg.m⁻³. LOI peny je

16,5% čiže je horľavá. Mäkká pena sa používa v rukaviciach pre zväčšenie vzduchovej medzery a pre mäkkší a pohodlnejší komfort pri nosení rukavíc. Tento materiál dobre znáša teploty od -50 do 130°C. Teplota topenia je cca 180°C a nad 220°C sa materiál rozkladá. Tento materiál sa v rukavici používa v 2.vrstve - membrána lebo má dobré izolačné vlastnosti. [11,12,13]



Obr. 4 Chemické zloženie Polyueratan [11]

Uhlíkové vlákno

Jedná sa o uhlíkové vlákna, ktoré sú tenké s priemerom 5-8μm, majú vysokú pevnosť v ťahu a sú zložené z atómov uhlíka. Uhlíkové vlákna môžu obsahovať 92 až 99,9 %uhlíka. Ich LOI dosahuje 60%. Tieto vlákna obzvlášť majú odlišné vlastnosti a chemickou štruktúru, tvorenú uhlíkom a preto znášajú vysoké teploty, podľa typu v rozmedzí 1000 až 3000°C. Uhlíkové vlákno sa vyrábajú najčastejšie z PAN nasledujúcim postupom: vlákno sa stabilizuje pri teplote 200 až 300°C za pôsobenia ťahového napätia, kedy z čierne a stane sa netaviteľným. Karbonizácia je pri teplote od 1000 do 1500°C, kde vlákno dosahuje maximálnu pevnosť v ťahu. Stav grafitu (v inertnej atmosfére) nastáva pri teplote 1800 do 3000°C. Touto teplotou sa zvýši vo vlákne obsah uhlíka a tým sa vlákno stáva tuhšie. Vysoká tuhosť je docielená tým, že pri tejto teplote vznikajú dokonalejšie mikrokryštály vo vlákne. V tabuľke 1 sú uvedené hodnoty teplotnej odolnosti a modulu pružnosti jednotlivých druhov uhlíkových vláken.

Tab. 1 Typy uhlíkových vláken

Carbon %	Typ vlákna	Teplota ošetrenia °C	Modul pružnosti GPa
92-96	vysoká pevnosť	1200-1400	228-241
99	vysoký modul	1800-2500	278-380
nad 99	ultra vysoký modul	2800-3000	483-690

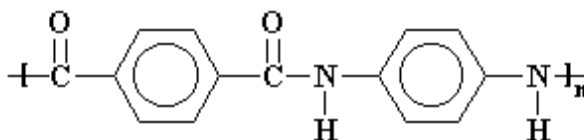
Tento materiál sa používa v rukavici v 3.vrstve – medzivrstva pretože znáša vysoké teploty a má vysokú pevnosť v ťahu. [2,3,14,15,16,18,20]

Aromatické amidy = aramidy

Ide o tepelne a mechanicky odolný syntetický materiál. Z nej vyrobená vlákna majú vysokú pevnosť v ťahu. Jeho všeobecné vlastnosti sú nízka horľavosť, sú nevodivé, nemajú žiadny bod topenia a odolávajú dlhodobo teplote 200 až 300°C. Ich degradácia začína až od teploty 500°C. Pod para-aramidové materiály spadá Kevlar a Twaron. Pod meta-aramid patrí Nomex, Kermel. Aramidová textília sa v rukavici používa v 3.vrstve – medzivrstva pretože je objemná, má izolačné vlastnosti a má vysokú pevnosť v ťahu.

Kevlar

Má vysokú pevnosť v ťahu. Čo sa týka tepelných vlastností vie si zachovať svoju pevnosť aj pri veľmi nízkych teplotách až -196°C. Pri vyšších teplotách sa pevnosť v ťahu znižuje. Tento materiál má nízku tepelnú vodivosť, je nehorľavý a odoláva iskrám. LOI dosahuje 29% čiže je nehorľavý. Kevlar je stabilný do teploty 150°C a pri teplote 160°C po dobu 500 hodín sa jeho pevnosť zníži o 10%. Pri teplote 260°C a po dobu 70 hodín jeho pevnosť klesá až o 50%. Teplota okolo 520°C spôsobuje mäknutie a tepelná deštrukcia vlákna nastáva pri teplote 600°C. Kevlar sa môže použiť v rukavici buď v 1.vrstve – podšívka, 3.vrstve – medzivrstva alebo taktiež v 4.vrstve – vrchný materiál pretože má vysokú tepelnú odolnosť.



Obr. 5 Chemické zloženie Kevlar [14]

Twaron

Toto vlákno má rovnakú chemickú štruktúru a tepelné vlastnosti ako Kevlar. Jedná sa o rovnaký výrobok vyrábaný firmou Teijin Aramid, zatiaľ čo Kevlar je obchodný názov spoločnosti DuPont.

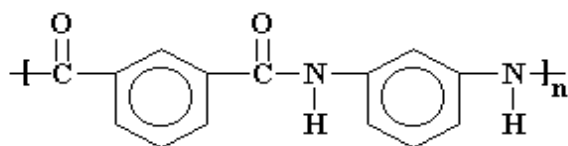
Nomex

Je menej tuhý a menej pevný ako je Kevlar. Tento materiál nehorí lebo LOI dosahuje 30%, má nízku tepelnú vodivosť a taví sa. Dlhodobo je stabilný pri teplote cez 220°C, kde si zachováva rozmerovú stabilitu a vysokú pevnosť v ťahu. Nomex odoláva pomerne vysokým teplotám až 500°C. Nomex sa v rukavici môže používať buď v

3.vrstve – medzivrstve alebo taktiež v 4.vrstve – vrchný materiál lebo má vysokú tepelnú odolnosť. Ďalšie parametre aramidov sú uvedené v tabuľke 2.

Tab. 2 Doplnujúce parametre aramidov

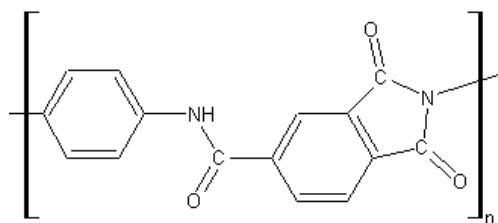
	Pevnosť v ťahu MPa	Modul pružnosti GPa	Predĺženie %	Hustota g/m ³
Kevlar 29	3600	80	4	1,44
Twaron	3000	125	2	1,45
Nomex	700	17,3	22,6	1,4



Obr. 5 Chemické zloženie Nomex [21]

Kermel

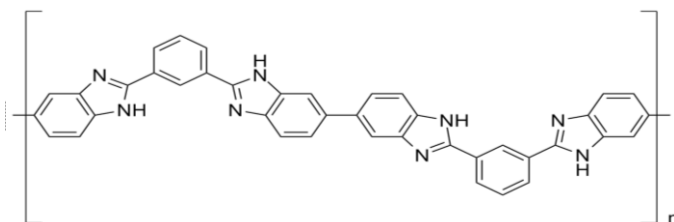
Má vysokú pružnosť, vynikajúce omakové vlastnosti a je nehorľavý. Díky tomu je možné ho používať v priamom kontakte s ľudskou pokožkou. Môže ísť o materiál vyrobený zo 100% kermelu alebo o kombináciu v množstve 50 až 70%. Kermel sa netaví aj keď je vystavený vysokým teplotám. Toto vlákno nehorí lebo LOI má 30-32% a bod skleného prechodu má 285°C. Kermel si zachováva mechanické a tvarové stálosti pri teplote cca 1000°C na niekoľko sekúnd. V tejto oblasti je kermel veľmi efektívny pretože udržuje ochrannú vrstvu medzi pokožkou a odevom. Všetky tieto materiály sú veľmi odolné na ťahové namáhanie, vysokým teplotám a aj chemikáliám. Majú vyššiu ohybnosť ako sklenené alebo uhlíkové vlákna. Kermel sa v rukavici používa v 4.vrstve – vrchný materiál pretože znáša veľmi dobre vysoké teploty a slúži ako ochranný štít pre ruku hasiča.[10,17,18,19,20,21,22,23,24]



Obr. 6 Chemické zloženie Kermel [37]

PBI

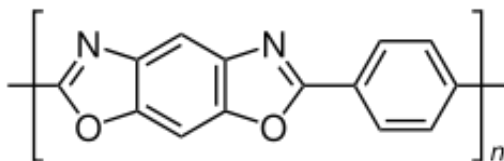
PBI je polybenzimidazol a patrí medzi polyméry s vysokou tepelnou a chemickou stabilitou. Jeho hustota je 1430 kg/m^3 . Pretrhnutiu vlákna nastáva až pri 25-30% predĺženia. Tento materiál je nehorľavý pretože jeho LOI je 41%. Do teploty 540°C si tento materiál zachováva svoju pružnosť. Má vysokú teplotu topenia až 760°C . Tento materiál má vyššiu odolnosť proti UV žiareniu ako aramidové vlákna. Tento materiál sa v rukavici používa v 4.vrstve – vrchný materiál lebo má dobré izolačné vlastnosti. [17,18,20,25,26]



Obr. 7 Chemické zloženie PBI [26]

PBO

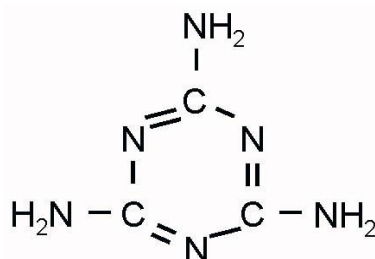
Ide o vlákno s chemickým zložením poly(p-fenylen-benzobioxazol). Jeho pevnosť a modul je takmer dvojnásobný ako u p-aramidových vlákien. Teoreticky dosahuje až 480 GPa. PBO je nehorľavé vlákno pretože LOI dosahuje 68, čo je najväčšia hodnota medzi organickými vláknami. Pri vystavení ohni tento materiál nemení tvar. Má dobrú odolnosť proti UV žiareniu a vlákno dosahuje tepelný odpor až 650°C . PBO má obchodný názov Zylon. [3,14,17,20,27,28]



Obr. 8 Chemické zloženie PBO [28]

Basofil

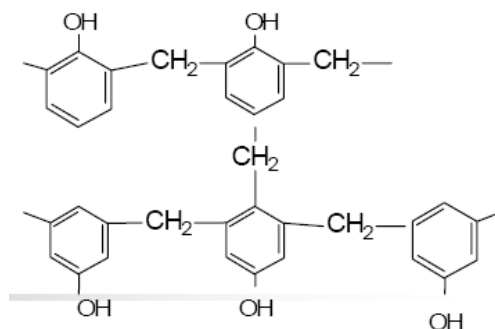
Basofil je obchodný názov vlákna, ktorého je základom melamin. Vláknó má LOI 32% a jeho teplota zvlňenia je 315-370°C. Teplota tavenia vlákna je 370°C. Má nízku tepelnú vodivosť, pri horení má vlákno schopnosť samo zhasnúť tým pádom je ohňovzdorné. Môže sa použiť ako filtračná textília a ochranné odevy. [17,29,30]



Obr. 9 Chemické zloženie Basofil [30]

Kynol

Toto vlákno je sieťovaný amorfný polymér na báze fenol-aldehyd. LOI dosahuje 33%. Pri teplote 398°C sa vlákno začne vlniť a zároveň taviť. Teplotný limit pre dlhodobú aplikáciu ohňa na tkaninu za prítomnosti vzduchu je 150°C a bez prítomnosti vzduchu je 200 až 250°C. Tkanina vydrží plameň až 2500°C po dobu 12 sekúnd bez toho aby sa poškodila. Pri vyšších teplotách tento materiál stráca na váhe a sile. Kynol má vysokú ohňovzdornosť a tepelnú izoláciu. Vláknó má vysokú chemickú odolnosť a je netaviteľné. [14,17,31]



Obr. 10 Chemické zloženie kynol [14]

V tabuľke 3 sú uvedené hodnoty kyslíkového limitného čísla (LOI), ktoré sú zoradené od najmenšieho po najväčšie.

Tab. 3 LOI

	LOI %
Polyuretanová pena	16,5
Bavlna	18-20
Polyester	20,6
Modakryl	26,8
Kervlar, Twaron	29
Nomex	30
Kermel	30-32
Basofil	32
Kynol	33
PBI	41
Uhlíkové vlákno	60
PBO	68

Kože

Koža má veľmi dobre mechanické, tepelné vlastnosti a vhodnou prípravou kože sa docieli jej dlhšia životnosť čím sa zabráni jej hnitíu. Veľmi dobre sa prispôsobuje teplotným zmenám a zmenám vlhkosti za pomoci absorpcie a prepúšťaniu vlhkosti. Koža reaguje už na zmeny $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$. Kože majú zvýšenú odolnosť na vysokú teplotu, iskrenie a na oheň v krátkom časovom intervale a sú hydrofóbne. Na výrobu hasičských rukavíc sa používa viacero koží napríklad hovädzia, kozia, techtan alebo termostabilná koža.

Hovädzia koža je najbežnejšia pri výrobe hasičských rukavíc. Koža pochádza z tura domáceho, váži okolo 15 až 50 kg a vlákna sú husto prepletená. Hovädzia koža sa delí na líc a na štiepenku. Líc je vonkajšia vrstva kože, ktorá je mäkká, trvanlivá, odolná voči vlhkostiam a treniu. Je odolná voči pôsobeniu teploty do cca 80°C . Štiepenka je

vnútorná vrstva kože. Táto vrstva sa vyznačuje pórovitým povrchom a preto ľahšie ako lícovka absorbuje vlhkosť. Je odolná voči pôsobeniu teploty do 100°C.

Kozia koža pochádza z kozy domácej. Váži cca 1 kg a jej vlákna sú pomerne husto prepletené. Táto koža je extrémne hladká pretože obsahuje lanolin a je dvakrát silnejšia ako koža hovädzia s tou istou hrúbkou.

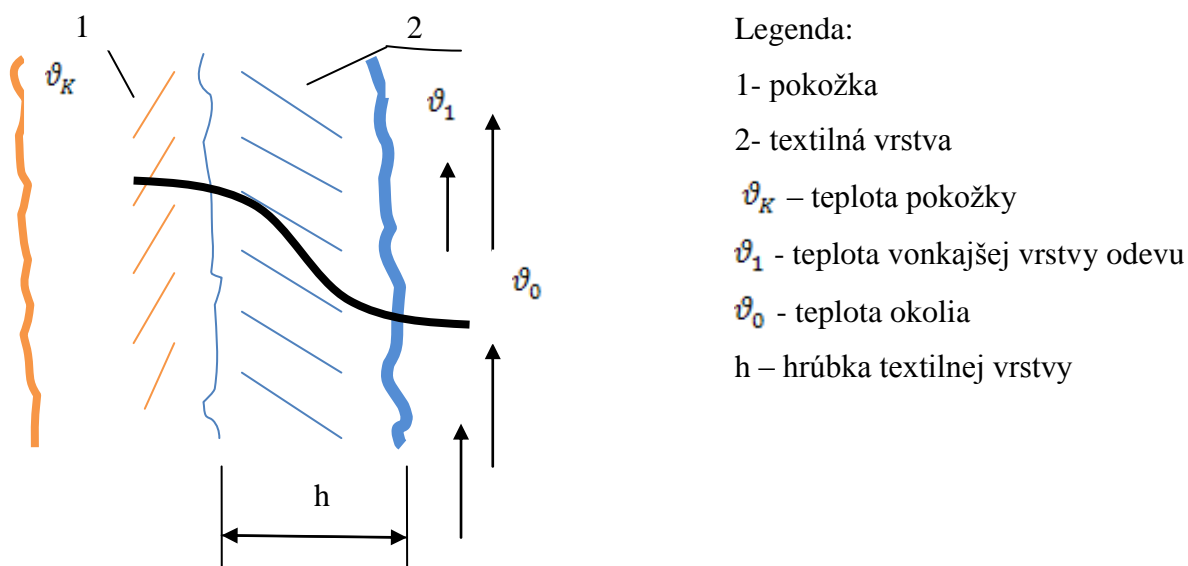
Techtan je obchodná značka pre kože a imitácie koží. Spolu s termostabilnou kožou majú zväšenú odolnosť proti sálavému teplu do cca 250°. Kože sa v rukavici používajú v 4.vrstve – vrchný materiál pretože dobre odolávajú sálavému teplu. [32,33,34,35]

2.3 Mechanizmus prestupu tepla

V tejto kapitole budú popísané parametre, ktoré súvisia s tepelnou odolnosťou. Tieto parametre sa budú zaoberať teplom a jeho vedením, prúdením a radiáciou. Teplo alebo tepelná energia je vnútorná energia, ktorú teleso prijme alebo odovzdá inému telesu. Teplo si vymieňajú iba telesá, ktoré nemajú rovnakú teplotu. Je dôležité rozlišovať pojem teplota a teplo. Teplota súvisí so stavom telesa a teplo súvisí so zmenou stavu telesa. Keď teleso prijme energiu vo forme tepla jeho vnútorná energia stúpa. Prenos energie prebieha vo forme vedením, prúdením a žiarením tepla z teplejšieho telesa na chladnejšie. Tento prenos tepla prebieha až dovtedy pokiaľ obe telesá nemajú rovnakú teplotu, hovoríme o tepelnej rovnováhe. Nižšie sú uvedené jednotlivé druhy prenosu tepelnej energie.

2.3.1 Vedenie tepla (Kondukcia)

Tento prechod tepelnej energie je vyvolaný pohybom elementárnych častíc, ktoré pri vyššej teplote začínajú kmitať. Pri zrážkach molekúl odovzdajú molekuly s vyššou teplotou svoju zvyšnú kinetickú energiu molekulám, ktoré majú nižšiu teplotu. Pri kondukcii dochádza k tomu, že odev prilieha tesne k pokožke ľudského tela a teplo je odvádzané kontaktným spôsobom. Tento prenos tepla môžeme vidieť na obr.11. Rýchlosť odvádzania tepla závisí na teplote okolia, hrúbke textilnej vrstvy, od množstva statického vzduchu v textílii a okolitého pohybu vzduchu.



Obr.11 Prenos tepla Kondukciou

Vedené teplo sa vyjadruje podľa Fourierova zákona:

$$Q_{ved} = \lambda \cdot \frac{T_1 - T_2}{\delta} \cdot S \cdot \tau \quad (39)$$

kde: Q_{ved} – množstvo tepla [J], ktoré prejde stenou o ploche $S[m^2]$ za dobu τ [s],
 $[J \cdot s^{-1} \equiv W]$

λ - súčiniteľ tepelnej vodivosti sústavy vrstvy odevu [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]

T_1 - teplota vnútornej strany prvej vrstvy odevu [K]

T_2 - teplota vonkajšej strany poslednej vrstvy odevu [K]

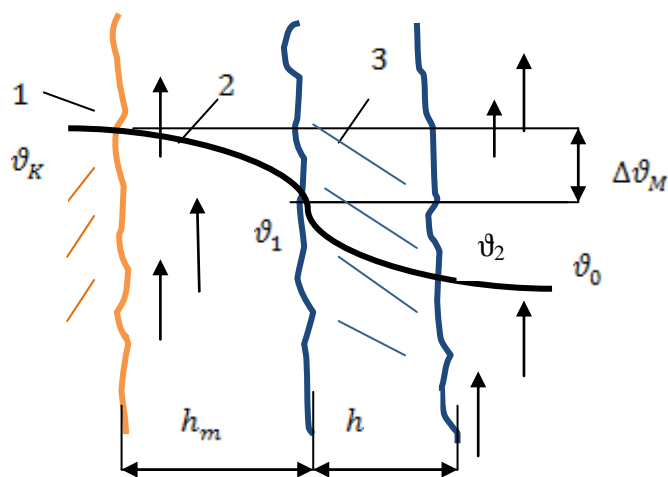
δ - hrúbka sústavy vrstiev odevu [m]

Zo vzťahu je vidieť, že množstvo tepla preneseného vedením rastie priamo úmerne s teplotnou vodivosťou, rozdielom teplôt a nepriamo úmerne rastie s hrúbkou vrstvy.

2.3.2 Prúdenie tepla (Konvekcia)

Konvekcia prebieha medzi ľudskou pokožkou a prvou textilnou vrstvou, ktorú má človek na sebe oblečenú (obr. 12). Medzi pokožkou a prvou vrstvou odevu sa nachádza mikroklima, ktorá je vzduchová medzivrstva. V tejto mikroklimě dochádza k prúdeniu tepla pomocou pohybu organizmu v prostredí. Konvekcia je závislá na prúdení vzduchu, na odhalení tela a na rýchlosti vetra. Z toho vyplýva, že tepelné straty narastajú za zvýšeného vetra. Konvekcia môže byť prirodzená alebo nútená. Prirodzená

konvekcia nastáva vztlakovými silami a nútená konvekcia nastáva za pomoci okolitých javov.



Legenda:

1- pokožka

2 - mikroklima

3 - textílie

ϑ_K - teplota pokožky

ϑ_0 - teplota okolia

$\Delta\vartheta_M$ - pokles teploty

h_m - hrúbka mikroklimy

h – hrúbka materiálu

Obr. 12 Priestup tepla Konvekcia

Konvekcia sa dá vyjadriť pomocou Newtonovho zákon ochladzovania telies:

$$\dot{Q}_{pr} = \alpha_{pr} \cdot S \cdot (T_0 - T_V) \quad (42)$$

kde: \dot{Q}_{pr} – množstvo tepelného toku [W]

α_{pr} - súčiniteľ konvence [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \text{K}^{-1}$]

S – povrch telesa [m^2]

T_0 - teplota povrchu tela – odevu [K]

T_V - teplota vzduchu [K]

2.3.3 Radiácia

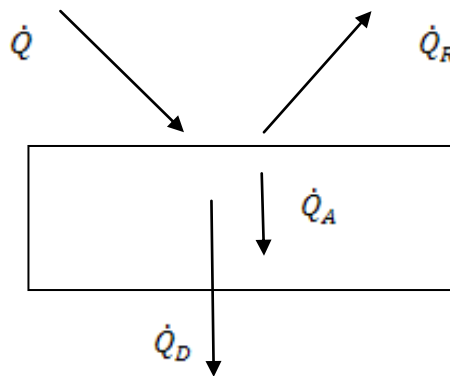
Radiáciou sa nazýva tepelné žiarenie aj sálanie a jedná sa o spôsob prenosu tepla. Prenos tepla môže nastať z pokožky do okolia ale aj naopak, čiže sálavé teplo je pokožkou prijímané prostredníctvom infračerveného žiarenia. Výdaj tepla pomocou radiácie je závislý na teplote, vlhkosti okolia a na odhalení ľudskej pokožky. Pokiaľ teplota organizmu je vyššia ako teplota okolia nastáva výdaj tepla. Ak je teplota organizmu nižšia ako je teplota okolia nastáva prijímanie tepla. Všetky telesá vydávajú infračervené (elektromagnetické) žiarenie a táto energia pri sálaní dosahuje vlnových dĺžok od 0,3 až do 40 μm . Intenzita sálania je závislá na teplote daného telesa. Teleso, ktoré má nenulovú teplotu vyžaruje elektromagnetické žiarenie. Celkové množstvo

energie vyžiarenej z jednotky plochy rastie s teplotou povrchu. Od tejto teploty je závislé aj spektrum žiarenia, ktoré sa pri náraste teploty posúva ku kratším vlnovým dĺžkam. Každé teleso zachytáva fotóny vyžiarené okolitými predmetmi. Konečná energetická bilancia procesu je daná rozdielom vyžiarenej a prijatej energii. Množstvo vyžarovanej energie rastie s teplotou telesa tým pádom výsledkom sárania je prenos energie z teplejších telies na chladnejšie. Pri dopadu žiarenia na povrch telesa môže nastať odrazenie žiarenia, jeho pohltenie alebo prechod žiarenia cez materiál (obr.13). Energetická bilancia sa dá vyjadriť ako:

$$\dot{Q} = \dot{Q}_R + \dot{Q}_A + \dot{Q}_D \quad (42)$$

Kde \dot{Q} je určitý tok žiarenia, \dot{Q}_R je časť žiarenia sa odrazí, \dot{Q}_A je časť žiarenia sa pohltí a \dot{Q}_D je časť žiarenia prejde cez materiál. Odrazenie sa dá vyjadriť ako $R = \dot{Q}_R / \dot{Q}$. Pohltenie sa vyjadruje ako $A = \dot{Q}_A / \dot{Q}$. Priepustnosť sa vyjadruje $D = \dot{Q}_D / \dot{Q}$. Podľa Kirchhoffova zákona platí vzťah $R + A + D = 1$ a z toho môžu nastať tri prípady:

- 1) $D = 1$ ide o dokonalé lesklé teleso, ktoré všetku dopadajúcu sálavú energiu odrazí
- 2) $A = 1$ ide o dokonalé čierne teleso, ktoré všetku dopadajúcu energiu pohltí
- 3) $R = 1$ ide o transportné teleso - biele teleso, ktoré všetku dopadajúcu energiu prepustí



Obr. 13 Rozptyl žiarenia po dopadu na teleso

Celkový výkon vyžarovaný telesom na všetkých frekvenciách sa dá vyjadriť Stefan-Boltzmanovým zákonom:

$$P = \sigma S T^4 \quad (41)$$

kde: σ - Boltzmanová konštanta $5,669 \cdot 10^{-9} \text{ [W.m}^{-2} \text{ K}^{-4} \text{]}$

S - povrch telesa $[\text{m}^2]$

T - povrchová teplota $[\text{K}]$

Tento vzťah je daný na dokonale čierne teleso. Toto teleso je ideálny žiarič, ktorý vyžaruje maximálnu energiu všetkých vlnových dĺžok, vo všetkých smeroch do polo priestoru a absorbuje všetko naň dopadajúce žiarenie. Sálanie sa môže šíriť aj vo vákuu. [38,39,40,41,42,43]

2.4 Ochrana proti teplu a ohni u ochranných odevov – metodika skúšania a hodnotenia

S tepelnými rizikami sa stretávajú hasiči pri požiaroch, kde sa teplota pohybuje rádovo vo vyšších $^{\circ}\text{C}$. V BP budú bližšie uvedené tri riziká, ktoré sú kontaktné teplo, konvenčné teplo a radiácia. Tieto riziká vznikajú pri horení. Proces horenia je sústava fyzikálne – chemických dejov. Základom horenia je prudká chemická reakcia, pri ktorej sa uvoľňuje teplo a svetlo. Pre vznik priebehu horenia je dôležitá prítomnosť horľaviny, oxidačné prostriedky v zápalnom pomere a prítomnosť zdroja iniciácie. Oxidačné prostriedky sú látky, ktoré podporujú proces horenia a jedná sa o vzdušný kyslík, fluór, chlór a ďalší. Na proces horenia je potrebné splniť tri podmienky:

- prítomnosť horľavej látky
- dosiahnutie zápalnej teploty
- prítomnosť kyslíka

Prítomnosť kyslíka je dôležitá na určenie stupňa horľavosti resp. ohňovzdornosti daného materiálu. Určuje sa podľa indexu LOI (Limited Oxygen Index) resp. LKČ (Limitné Kyslíkové Číslo). LKČ vyjadruje najnižšiu koncentráciu kyslíka v zmesi s dusíkom vyjadrená v percentách. Táto koncentrácia stačí na to aby materiál horel.

$$LKČ = \frac{[\text{O}_2]}{[\text{N}_2] + [\text{O}_2]} \cdot 100 [\%] \quad (36)$$

Materiály, ktoré majú LKČ vyššiu ako 21% sú pokladané za ohňovzdorné. Materiály, ktoré majú LKČ nižšie ako 21% sú pokladané za horľavé. [8, 36]

2.4.1 Kontaktné teplo

Jedná sa o hlavné tepelné riziko pri ochrane rúk. S týmto rizikom sa stretávame v priemyselnom prostredí. Materiál, ktorý je určený na ochranné hasičské rukavice je skúšaný podľa EN 702. Pri tejto skúške je materiál odobratý z dlaňovej časti rukavice a má priemer 80 ± 8 mm. Skúšaná vzorka je vystavená kontaktnému teplu najmenej 10 s kedy sa dosiahne prah bolesti t_t . Výsledkom je aritmetický priemer z troch výsledných hodnôt zaokrúhlených na celú sekundu. Pri skúšaní musí materiál spĺňať požiadavky uvedené v tabuľke 4.

Tab. 4 Úrovne (triedy) prevedenia pri skúške kontaktného tepla

Úroveň (trieda) prevedenia	Kontaktná teplota T_c [°C]	Doba do dosiahnutia prahu bolesti t_t [s]
1	100	≥ 15
2	250	≥ 15
3	350	≥ 15
4	500	≥ 15

Daný materiál pri skúške horením dosahuje prinajmenšom triedu 3. Pre kontaktné teplo sa udáva úroveň (trieda) prevedenia maximálne 2.

2.4.2 Konvenčné teplo

Pri skúške na konvenčné teplo je materiál odobratý z vrchnej a dlaňovej časti hasičskej rukavice a skúša sa podľa EN 367. Skúšajú sa tri vzorky z každého materiálu alebo z každej kombinácie materiálu, ktorý je použitý na výrobu rukavice. Výsledkom je aritmetický priemer vypočítaný z troch jednotlivých hodnôt a zaokrúhlený na celú sekundu. Pri skúšaní materiál musí spĺňať uvedené požiadavky v tabuľke 5.

Tab. 5 Úrovne (triedy) prevedenia pre konvenčné teplo

Úroveň (trieda) Prevedenia	Index priestupu tepla HTI [s]
1	≥ 4
2	≥ 7
3	≥ 10
4	≥ 18

Pri skúške horením kedy je úroveň (trieda) prevedenia 3 alebo 4 sa až vtedy udáva určitá úroveň (trieda) prevedenia pre konvenčné teplo.

2.4.3 Radiácia

Pri tejto skúške majú vzorky rozmer 80 mm x 170 mm a sú odobraté z vrchnej časti troch jednotlivých ochranných rukavíc. Sú skúšané pri hustote tepelného toku 40 k.W.m⁻² podľa EN ISO 6942. Výsledkom je aritmetický priemer z troch nameraných hodnôt a zaokrúhlených na celú sekundu. Pri skúške musí daný materiál spĺňať určité požiadavky, ktoré sú uvedené v tabuľke 6.

Tab. 6 Úrovne (triedy) prevedenia pre sálavé teplo

Úroveň (trieda) prevedenia	Prestup tepla t ₂₄ [s]
1	≥ 7
2	≥ 20
3	≥ 50
4	≥ 95

Ak pri skúške horením je úroveň (trieda) prevedenia 3 alebo 4 až vtedy sa udáva úroveň (trieda) prevedenia pre sálavé teplo. Keď skúška v poriadku prebehne index priestupu sálavého tepla (RHTI) by mala byť pri najmenšom 20 a žiadna iná nameraná hodnota nesmie byť menšie ako hodnota 18. Táto skúška radiácie na textilný materiál bude podrobnejšie popísaná v experimentálnej časti BP. [44,45]

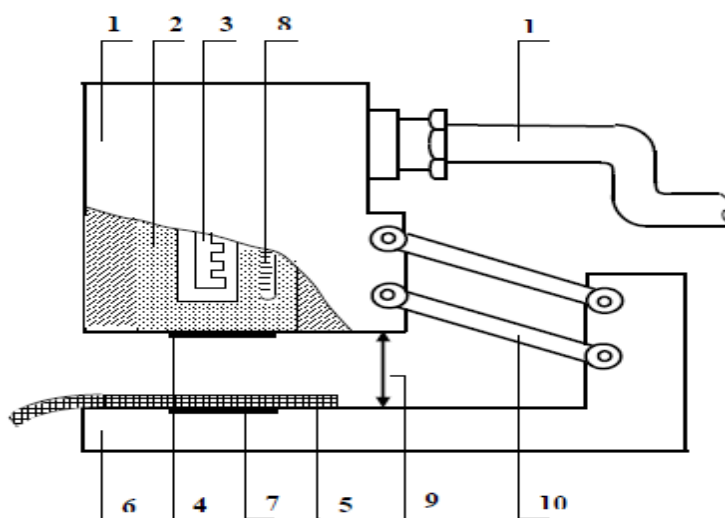
3 Experimentálna časť

3.1 Popis meracích zariadení

Stanovenie tepelnej odolnosti materiálov bude prevedené na dvoch meracích zariadeniach. Prvým zariadením je prístroj ALAMBETA, na ktorom budú merané vybrané tepelnoizolačné vlastnosti. Druhé zariadenie je určené pre stanovenie odolnosti proti sálavému teplu.

3.1.1 Zariadenie ALAMBETA

Tento prístroj je založený na meraní termofyzikálnych parametrov textílie. Termofyzikálne parametre textílie zahŕňujú stacionárne teplotné vlastnosti ale aj dynamické vlastnosti. Stacionárne teplotné vlastnosti sú izolačné vlastnosti, kde sa prístrojom ALAMBETA meria tepelný odpor a tepelná vodivosť. Pri dynamických vlastnostiach sa meria tepelná kapacita a tepelný tok. ALAMBETA je poloautomatický a počítačom riadený prístroj, ktorý je schopný vyhodnotiť štatistické údaje nameraných hodnôt. Taktiež obsahuje autodiagnostický program, ktorý zabraňuje prístroju chybným operáciám. Princíp merania na prístroji ALAMBETA spočíva v tom, že sa hodnotí úroveň tepelného toku prechádzajúceho povrchom vlhčeného vzorku, ktorý je v kontakte s povrchom meraného vzorku. Vlhčená vzorka v tomto prípade nahrádza vlhkú ľudskú pokožku. Pri kontakte oboch textílií pod určitým prítlakom dochádza k odvodu vlhkosti z vlhčeného materiálu a k vedeniu vlhkosti mimo plochy snímača tepelného toku.



Obr. 14 Schéma prístroja ALAMBETA [38]

Legenda prístroja ALAMBETA:

1. tepelný izolačný kryt (meracia hlavica)
2. kovový blok
3. vykurovacie teleso
4. snímač tepelného toku
5. vzorka textílie
6. základňa prístroja
7. snímač tepelného toku
8. teplomer
9. vzdialenosť medzi tepelným izolačným krytom a základňou prístroja
10. paralelné vedenie

Prístroj ALAMBETA zaznamenáva tieto nasledujúce parametre:

- tepelný tok q [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]

je množstvo tepla šíriaceho sa z hlavice prístroja o teplote t_2 do textílie o počiatočnú teplotu t_1 za jednotku času

- merná tepelná vodivosť λ [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

je to súčiniteľ mernej tepelnej vodivosti, ktoré predstavuje množstvo tepla, ktoré pretečie jednotkou dĺžky za jednotku času a vytvorí sa rozdiel teplôt 1K

- tepelná kapacita b [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{1/2} \cdot \text{K}^{-1}$]

charakterizuje tepelný omak a predstavuje množstvo tepla, ktoré pretečie pri rozdielu teplôt 1K jednotky plochy za jednotku času v dôsledku akumulácií tepla v jednotkovom objeme

- plošný odpor vedenia tepla r [$\text{W}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{m}^2$]

je daný pomerom hrúbky materiálu a mernej tepelnej vodivosti

- merná teplotná vodivosť α [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]

ide o schopnosť textílie vyrovnávať teplotu, čím je hodnota vyššia, tým si textília rýchlejšie vyrovnáva teplotu

- hrúbka materiálu h [mm]
- pomer ustáleného a maximálneho tepelného toku p [-] [38,46]

3.1.2 Priebeh skúšky na prístroji ALAMBETA

Pred meraním boli zaznamenané laboratórne podmienky, kde teplota bola 22,5°C a relatívna vlhkosť 55%. Predpísaný rozmer skúšaného vzorku bol 100 x 100 mm. Modifikácia skúšky spočívala v použití väčšieho vzorku. Tá bola meraná na viacerých rôznych miestach. Skúška prebiehala tak, že materiálom sa pokryla celá plocha snímača tepelného toku, meracia hlavica klesla, tým prichytila skúšaný materiál a tým bolo zahájené meranie. Meracia hlavica mala teplotu 32°C, ktorá odpovedá teplote ľudskej pokožky a teplota textilnej vzorky sa pohybovala okolo 22°C. Doba merania trvala 10 až 100 sekúnd, následne sa meracia hlavica zdvihla a na displeji boli zobrazené výsledky, ktoré boli zaznamenané pre ďalšie spracovanie. Takto bola vzorka premeraná na celkom 5 miestach a prístroj ALAMBETA vykonal aj štatistické vyhodnotenie - priemer a variačný koeficient.

3.1.3 Meracie zariadenie na odolnosť proti sálavému teplu

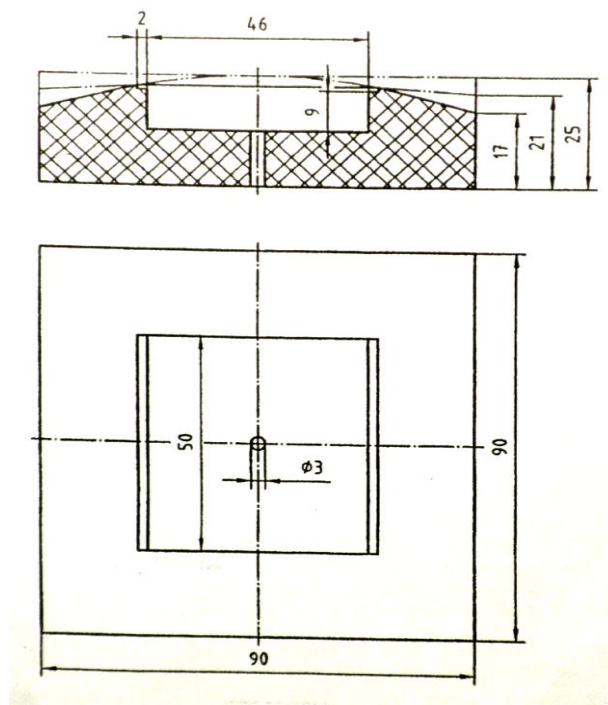
Odolnosť materiálu proti sálavému teplu sa stanovuje tak, že materiál je vystavený určitému sálavému teplu (hustoty tepelného toku), ktorá môže mať podľa normy tri úrovne tepelného toku:

- nízka úroveň je 5 kW/m² a 10 kW/m²
- stredná úroveň je 20 kW/m² a 40 kW/m²
- vysoká úroveň je 80 kW/m²

Meracie zariadenie, ktoré sa používa pri skúšobných metódach podľa normy ČSN EN ISO 6942 [47] sa skladá zo zdroju sálania, skúšobného rámu, držiaku skúšobného vzorku, kalorimetru a zariadenie k meraniu a zaznamenávaniu teploty.

Podľa uvedenej normy sa zdroj sálania skladá zo šiestich vykurovacích tyčí, ktoré dosahujú teplotu cca 1100°C. Vykurovacie tyče sú dlhé 365 ± 2 mm a dĺžka vykurovacej časti je 178 ± 2 mm.

Kalorimeter (obr. 15) je medená doštička, ktorá má hrúbku 1,6 mm, je z 99% čistej medi a je o rozmeroch 50 mm × 50,3 mm. Jej hmotnosť by sa mala pohybovať od 35,9 g do 36 g. Na spodnej časti doštičky je pripevnený termočlánok, ktorý zaznamenáva hodnoty v milivoltoch. Materiál je neazbestový, nehorľavý a tepelne izolačný. Medená doštička je pripevnená na základovú dosku pomocou lepidla, ktoré má schopnosť odolávať teplote cca 200°C. Na prednej ploche kalorimetru je nanos tenkej čiernej optickej vrstvy, ktorá má súčiniteľ absorpcie α väčšiu ako 0,9.



Obr. 15 Schéma kalorimetru

Zariadenie pre meranie a zaznamenávanie teploty stanoví absolútnu teplotu medenej doštičky, ktorá sa zachytí tak, že termočlánok sa pripojí k studenému spoju a výstup napätia z termočlánku sa pripojí na programovateľný zapisovací stroj alebo sa pripojí na počítač. Presnosť záznamu napätia je 10 μ V a na presnosť času je to 0,1 s.

Pri skúške na sálavé teplo je potrebné priblížiť pojmy, ktoré budú v BP používané. Jedná sa o tieto pojmy:

- skúšobná vzorka

jedná sa o všetky vrstvy materiálu, ktorý je potrebný na výrobu ochranných hasičských rukavíc

- úroveň prestupu tepla

čas t_{12} - ide o čas potrebný na nárast teploty kalorimetru o $12 \pm 0,1$ °C, ktorý je vyjadrený v sekundách a zaokrúhlený na jedno desatinné miesto

- súčiniteľ prestupu tepla (TF)

je to hodnota pomeru prestupujúceho tepla vzorkou, ktorá je vystavená zdroji sálavému tepla a číselne sa rovná pomeru hustoty dopadajúceho a prestupujúceho tepelného toku cez daný materiál

- hustota dopadajúceho tepelného toku

ide o množstvo dopadajúcej energie na vystavený povrch kalorimetru za určitú jednotku času [$\text{kW} \cdot \text{m}^{-2}$]

Kalibrácia prístroja pre stanovení odolnosti proti sálavému teplu

Kalibrácia prístroja sa robí za účelom stanovenie určitej úrovne dopadajúceho tepelného toku. Pred každou kalibráciou a meraním je potrebné aby bola medená doštička kalorimetru v ustálenom stave $\pm 2^\circ\text{C}$ od teploty okolia. Podľa normy kalibrácia zdroju sálania spočíva v tom, že pohyblivá clona sa vytiahne a keď sa dosiahne nárastu teploty o 30°C pohyblivá clona sa vráti do svojej pôvodnej polohy. Následne sa zaznamená výkon, ktorý ukáže krátky nelineárny priebeh závislosti medzi teplotou a časom. Potom by mal nastať lineárny priebeh, ktorý trvá do zastavenia pôsobenia teploty. Na stanovenie miery nárastu teploty v lineárnom priebehu sa použijú tabuľky elektromotorické sily pre termočlánok. Hustota dopadajúceho tepelného toku Q je vyjadrená v $\text{kW} \cdot \text{m}^{-2}$ a vypočíta sa ako:

$$Q_0 = \frac{M \cdot C_p \cdot R}{A \cdot \alpha} \quad (47)$$

kde: M – je hmotnosť medenej doštičky [kg]

C_p - je merné teplo medi $0,385$ [$\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$]

R – je miera nárastu teploty kalorimetru v lineárnom priebehu [$^\circ\text{C/s}$]

A – je plocha medenej doštičky [m^2]

α - je súčiniteľ absorpcie nefarebného povrchu kalorimetru

Hustota dopadajúceho tepelného toku sa prispôsobí tak, aby mala požadovanú úroveň $\pm 2\%$ zmenou vzdialenosti d medzi zdrojom sálania a kalorimetrom. [47]

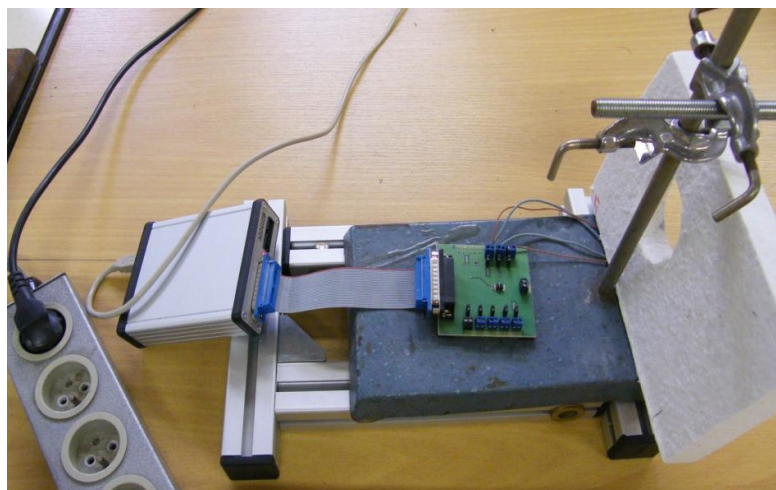
3.1.4 Priebeh skúšky na prístroji sálavé teplo

Prístroj na sálavé teplo bol modifikovaný v zdroji sálaní a neboli použité pohyblivé clony. Norma udávala šesť vykurovacích tyčí ale prístroj, na ktorom sa v skutočnosti meralo, mal len tri vykurovacie tyče. Tieto tyče sú zobrazené na obr. 16 a dosahovali teploty okolo 550°C. Základňa prístroja na sálavé teplo bolo z materiálu SiBrAl. Teplota zdroja sálania sa kontrolovala infračerveným teplomerom, ktorý bola meraná teplotu tyčí, aby nedošlo k prehriatiu tyčí a ich následnému poškodeniu.



Obr. 16 Zdroj sálania

Pred začiatkom merania bol kalorimeter pripojený k meraciemu modulu AD24USB (obr. 17). Tento modul obsahoval autonómny procesor riadený AD prevodníkom s vysokou rozlišovacou schopnosťou. Bol galvanicky oddelený od obvodu počítača. Tento prístroj slúži k meraniu napätia termočlánku a prepočtu na teplotu. Pomocou programu je možné snímať priebeh teploty v závislosti na čase behom celej skúšky.



Obr. 17 AD24USB

Pred skúškou na odolnosť proti sálavému teplu bolo potrebné vykonať kalibráciu sálavého zdroja na tepelný tok 20 kW.m^{-2} (obr. 18). To spočívalo v nastavení vhodnej vzdialenosti kalorimetru od zdroja sálania.

Postup kalibrácie bol nasledujúci:

$$Q_0 = \frac{M \cdot C_p \cdot R}{A \cdot \alpha} \quad (47)$$

Parametre kalorimetru (viz kap.3.1.3):

$M = 36 \text{ g} \dots\dots 0,036 \text{ kg}$

$A = 50 \times 50,3 \text{ mm} \dots\dots 0,05 \times 0,0503 = 2,515 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

$C_p = 0,385 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$

$\alpha = 0,95$

$R = ?$

$$R_3 = 10,269 / 2,934 = 3,5^\circ \quad Q_0 = \frac{0,036 \cdot 0,385 \cdot 3,5}{2,515 \cdot 10^{-3} \cdot 0,95} = 20,3 \text{ kW.m}^{-2}$$

Po správnej kalibrácii bola nameraná hodnota $20,3 \text{ kW.m}^{-2}$. Z toho vyplýva, že hustota dopadajúceho tepelného toku je stredná úroveň 20 kW.m^{-2} , ktorú udáva norma. Popis kalorimetru je uvedený v kapitole 3.1.3.



Obr. 18 Kalorimeter

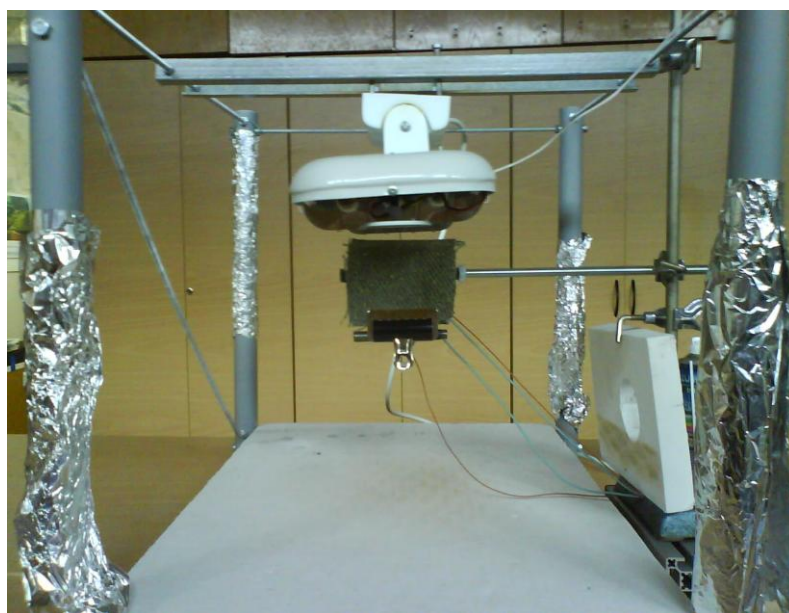
Po nastavení požadovaného tepelného toku bolo možné pristúpiť k samotnému stanoveniu tepelnej odolnosti vybraných vzorkou. Priebeh merania spočíval v tom, že na oba konce textilnej vzorky bolo pripevnené závažie. Takáto vzorka sa položila cez kalorimeter (obr. 20). Následne bol prístroj zo sálavým teplom prisunutý tak, aby kalorimeter bol presne v strede a pod zdrojom sálania (obr. 21). V tom okamžiku začala narastať teplota kalorimetru, ktorá bola sledovaná na počítači. Keď teplota kalorimetru stúpila o 12°C zdroj zo sálavým teplom bol odtiahnutý a tým bolo ukončené meranie. Vzorka bola odobratá z kalorimetru, ktorý sa následne schladil chladiacim sprejom. V počítači bola zachytená krivka a bol hľadaný čas nárastu teploty o 12°C (obr. 19).



Obr. 19 Nárast teploty kalorimetru



Obr. 20 Kalorimeter so skúšanou vzorkou



Obr. 21 Priebeh merania na sálavé teplo

3.1.5 Popis skúšaných vzorkou

Na skúšku proti sálavému teplu bolo k dispozícii 22 rôznych materiálov, ktoré mali odlišnú hrúbku a rôzne materiálové zloženie. Vzorky boli najskôr skúšané na zariadení ALAMBETA. Skúšanie prebiehalo na piatich rôznych miestach, z ktorých sa získavali namerané hodnoty. Získané hodnoty boli štatisticky vyhodnotené (priemer, variačný koeficient) a usporiadané do tabuľky. Modré materiály značia prvú vrstvu hasičskej

rukavice, ktorá je v priamom kontakte s ľudskou pokožkou (podšívka). Ružový materiál značí druhú vrstvu smerom od pokožky ruky (membrána). Žlté materiály značia tretiu vrstvu smerom od pokožky ruky (medzivrstva). Zelené materiály značia poslednú vrstvu čiže vrchnú vrstvu hasičskej rukavice.

Pred skúškou na sálavé teplo bolo potrebné z každého jedného materiálu vystrihnúť tri vzorky. Veľkosť vzorkou bola 80 x 230 mm, ktorú udáva norma. Vzorky materiálov sa rozdelili do štyroch vrstiev, ktoré sa nachádzajú v hasičských rukaviciach. Prvá vrstva od pokožky ruky je vo farbe modrej a skúšané materiály sú 100% bavlna, 40% modakryl 60% bavlna, Kevlar, CoolMax a Twaron. Druhá vrstva smerom do pokožky ruky je vo farbe ružovej a skúšaný materiál je polyuretanová pena (membrána). Tretia vrstva smerom od pokožky ruky je vo farbe žltej a skúšané materiály sú z aramidovej textílie, aramidovej netkanej recyklovanej textílie, 100% uhlíkových vlákien, 85% para-aramidových vlákien 15% inej látky, 50% kevlaru 50% nomexu, 45% uhlíkové vlákna 45% rapa-aramidové vlákna 10% iná látka. Štvrtá posledná a vrchná vrstva je vo farbe zelenej a skúšané materiály sú hovädzia štiepenka alebo lícovka, kozina alebo Tech-tan, Nomex, Kevlar, Kermel, PBI, PBI a netkaná textília.

4 Výsledky

4.1 Hodnoty z prístroja ALAMBETA

Získané namerané výsledky vychádzali z piatich meraní, ktoré boli štatisticky vyhodnotené. V tabuľke 7 sú uvedené názvy skúšaných materiálov a ich hodnoty:

- m_p [g.m⁻²] - plošná hmotnosť

Plošná hmotnosť bola dopočítaná, pričom sa vychádzalo z rozmeru vzorku 100 x 100 mm, ktorá sa zvažila na digitálnych vážkach. Použitý vzorec: $m_p = \frac{g}{m} \cdot 100$

- m_o [kg.m⁻³] – objemová hmotnosť

Objemová hmotnosť bola dopočítaná zo vzorca: $m_o = \frac{m_p}{h}$

Základné hodnoty - priemer:

- λ [Wm⁻¹.K⁻¹] -priemerná hodnota mernej tepelnej vodivosti

- h [mm] – hrúbka textilného materiálu
- b [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{1/2} \cdot \text{K}^{-1}$] – tepelná kapacita
- r [$\text{W}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{m}^2$] – plošný odpor vedenia tepla
- α [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$] – merná tepelná vodivosť
- q [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$] – tepelný tok

Hodnoty pre variačný koeficient sú λ ., h ., b ., r ., α ., q .. V tabuľke 7 sú uvedené namerané hodnoty na zariadenie ALAMBETA zoradené podľa materiálového zloženia rukavice. Vrstvy v rukavici sú usporiadané od podšívky (modrá farba) až po vrchový materiál hasičskej rukavice (zelená farba).

Tab. 7 Základné namerané parametre na zariadení ALAMBET

	m_p	m_o	λ	h	b	r	α	q	λ.	h.	b.	r.	α.	q.
100% bavlna	196,5	401	0,0383	0,49	160	0,0128	5,90E-08	0,411	2,2	12,6	11,6	13,9	15,9	7,4
PES Coolmax	222,8	289,4	0,0375	0,77	114	0,0205	1,09E-07	0,326	2,7	2,1	2,9	1,7	7,7	2,3
40% modakryl 60% bavlna	290	181,3	0,0534	1,6	126	0,03	1,81E-07	0,272	1,3	3,1	5,1	3,8	9,1	7,3
Twaron	195	141,3	0,0498	1,38	87,1	0,0277	3,28E-07	0,228	1,4	3,8	4,6	4,2	7,8	2,7
Kevlarová podšívka	175,5	121	0,051	1,45	95,5	0,0284	2,86E-07	0,245	2	3,9	3,1	5,5	4,6	3,5
P 11 pena (molitan)	138,8	28,6	0,0386	4,85	46,6	0,126	6,87E-07	0,181	1,5	1,3	3,2	1,5	8,4	6,8
Netkaná aramidová textília	96,5	44,1	0,0364	2,19	59,9	0,0601	3,74E-07	0,175	2,1	16,1	7	14,4	13	9
KR 102 aramid. NT	100	46,7	0,0377	2,14	49,3	0,0567	6,04E-07	0,144	2,2	7,8	9,9	6,3	25,8	9,9
100% carbon	79,9	82,4	0,0292	0,97	57,8	0,0331	2,63E-07	0,221	2,1	3,1	10	2,4	25,1	7,8
Aramid NT	50	30,5	0,0333	1,64	38,3	0,0492	7,88E-07	0,141	1,2	7,2	12,1	6,3	28,6	11,5
85% para aramid 15% ina látka	533	253,8	0,0522	2,1	144	0,0403	1,32E-07	0,235	3,5	6,5	7,8	9,6	12,8	15,1
45% carbon 45% para aramid 10 iná látka	390,5	185,1	0,049	2,11	117	0,043	1,76E-07	0,217	1,4	2,7	3,6	3,1	6,4	6
50% kevlar 50% nomex KRN	50	24	0,0326	2,08	32,9	0,0638	0	0,135	1,3	7,5	9,8	6,7	17	10,9
Kermel	219,1	842,7	0,0189	0,26	200	0,0081	4,10E-08	0,606	0,056	73,2	8,8	45,4	52,5	27,1
Nomex 3001 NF	195,5	528,4	0,0359	0,37	165	0,0104	4,80E-08	0,46	2,4	4,1	10,5	5,2	17,5	8,6
Hydrofóbná hovädzina licovka 0,9-1,1 mm	559,5	307,5	0,0435	1,82	180	0,0417	6,00E-08	0,367	0,367	14,1	11,3	12,3	12,9	14,1
PBI	203,9	443,3	0,037	0,46	156	0,0125	5,70E-08	0,418	2,5	10,8	6,9	11,2	14,7	7,1
PBI+ netkaná textília	309,2	315,5	0,0385	0,98	170	0,0256	5,20E-08	0,5	2,6	8,2	6,5	10,6	13,3	12,6
Kozina	577	369,9	0,0389	1,56	161	0,0401	6,20E-08	0,295	2,2	38,9	13,3	38	34,9	28,6
Hovädzina licovka 0,9-1,1 mm	621,5	403,6	0,046	1,54	211	0,0342	4,90E-08	0,54	9,6	32,2	14,6	40,9	20,3	26,7
Techtan 0,9-1,1 mm	504,5	327,6	0,0427	1,54	198	0,0365	5,00E-08	0,521	4,1	33,1	17,8	37,1	33,6	33,4
Hovädzina štiepenka 0,9-1,1 mm	917,2	684,5	0,0697	1,34	320	0,0195	4,80E-08	0,536	8,9	5,7	8,9	14,5	6,2	11,2

4.2 Hodnoty z prístroja na sálavé teplo

Namerané hodnoty boli získané z troch meraní, ktoré boli štatisticky vyhodnotené. Počítal sa priemer času v sekundách [s], za ktorý narástla teplota o 12 °C, rozptyl času [s] a rozptyl narastajúcej teploty [°C]. Parameter hrúbka materiálu [mm] je použitý z merania na prístroji ALAMBETA.

V tabuľke 8 sú uvedené namerané hodnoty na sálavé teplo zoradené podľa materiálového zloženia rukavice. Vrstvy v rukavici sú usporiadané od podšívky (modrá vrstva) až po vrchový materiál hasičskej rukavice (zelená farba).

Tab. 8 Namerané hodnoty na sálavé teplo

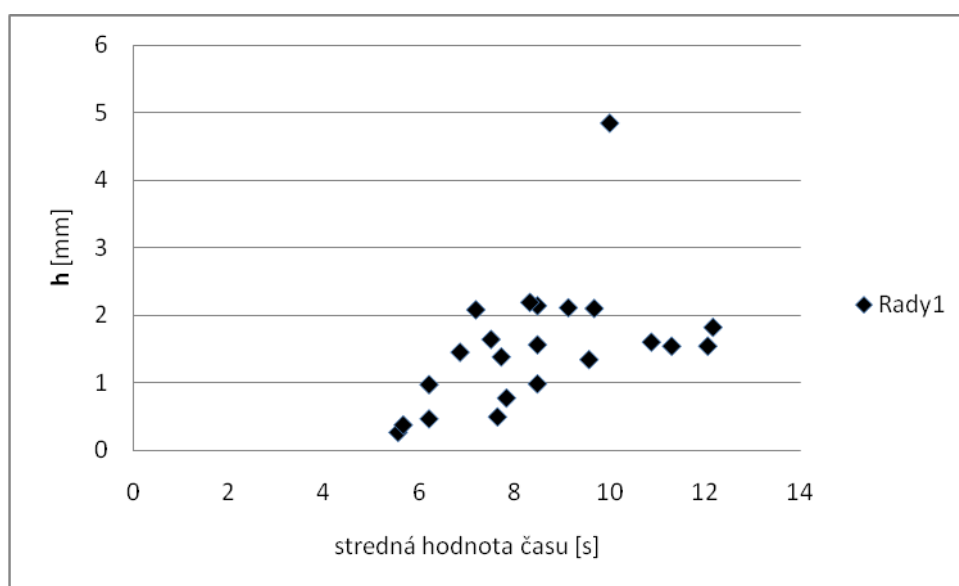
	h [mm]	priemer času [s]	priemer tepla [°C]	rozptyl času [s]	rozptyl tepla [°C]
100% bavlna	0,49	7,6	12,3	2,7474	0,0456
Twaron	1,38	7,7	12,5	0,142	0,00583
PES Coolmax	0,77	7,8	12,8	0,319	0,02263
40% Modakryl 60% Bavlna	1,6	10,9	12,3	0,1496	0,03063
Kevlarová podšívka	1,45	6,9	12,1	0,1063	0,0148
P 11 pena (molitan)	4,85	9,9	12,4	0,248	0,0133
Aramid NT	1,64	7,5	12,3	0,106	0,0381
100% carbon	0,97	6,2	12,3	0,286	0,0624
50% kevlar 50% nomex KRN	2,08	7,2	12,3	0,333	0,04123
85% para aramid 15% ina látka	2,1	9,7	12,2	0,248	0,03123
Netkaná aramidová textília	2,19	8,3	12,3	0,0257	0,03806
KR 102 aramid. NT	2,14	8,5	12,2	0,0351	0,0337
45% carbon 45% para aramid 10 ina látka	2,11	9,1	12,2	0,1056	0,0175
Kermel	0,26	5,6	12,4	0,399	0,1024
Nomex 3001 NF	0,37	5,7	12,6	0,0354	0,0333
Hovedzina štípenka 0,9-1,1 mm	1,34	9,6	12,4	0,0354	0,0134
PBI+ netkaná textília	0,98	8,5	12,3	0,1063	0,01423
PBI	0,46	6,2	12,4	0,0572	0,03
Kozina	1,56	8,5	12,4	0,0899	0,0211
Hovedzina lícovka 0,9-1,1 mm	1,54	11,3	12,3	0,461	0,0264
Techtan 0,9-1,1 mm	1,54	12,1	12,2	1,382	0,0007
Hydrofóbná hovedzina lícovka 0,9-1,1 mm	1,82	12,2	12,1	1,311	0,0048

4.3 Štatistické posúdenie vplyvov vybraných fyzikálnych parametrov na odolnosť voči sálavému teplu

Namerané hodnoty boli prevedené do grafov. Žiadny z grafov neukazoval na závislosť medzi jednotlivými parametrami. Na obr. 22 je ukázané porovnanie strednej hodnoty času [s] a mernej tepelnej vodivosti λ [$\text{Wm}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]. Na obr. 23 je ukázané porovnanie strednej hodnoty času [s] a hrúbky materiálov h [mm]. Zvyšné grafy závislostí sú uvedené v prílohe.



Obr. 22 Graf porovnania strednej hodnoty času a mernej tepelnej vodivosti



Obr. 23 Graf porovnania strednej hodnoty času a hrúbky materiálov

Zo získaných grafov nie je vidieť žiadny trend. Preto bola urobená analýza dát rozptylu – ANOVA.

ANOVA skúma závislosť premennej na jednej alebo viacerých premenných faktorov. Vychádzalo sa z nameraných hodnôt zo zariadenia ALAMBETA doplnené priemerným nárastom času na zariadení sálavé teplo (tab. 9). Výsledkom analýzy dát bolo, že sa analýza zamietla (tab. 10).

Vzhľadom k tomu, že nebola získaná škála vzorkou z rovnakých materiálov, ktorá by sa líšila napr. hrúbkou, plošnou alebo objemovou hmotnosťou, ale vzorky boli rôzne, je treba sa na ne dívať ako na kontinuum, ktoré je zrovnávané len z hľadiska nameraných parametrov tepla, pričom je hľadaná závislosť odolnosti voči sálavému teplu vzhľadom k týmto parametrom.

Tab. 9 Základné parametre pre analýzu dát

	priemer času (s)	m_p	m_o	λ	h	b	r	α	q
100% bavlna	7,6353	196,5	401	0,0383	0,49	160	0,0128	5,90E-08	0,411
PES Coolmax	7,824	222,8	289,4	0,0375	0,77	114	0,0205	1,09E-07	0,326
Twaron	7,715	195	141,3	0,0498	1,38	87,1	0,0277	3,28E-07	0,228
Kevlarová podšívka	6,846	175,5	121	0,051	1,45	95,5	0,0284	2,86E-07	0,245
40% modakryl 60% bavlna	10,876	290	181,3	0,0534	1,6	126	0,03	1,81E-07	0,272
P 11 pena (molitan)	9,997	138,8	28,6	0,0386	4,85	46,6	0,126	6,87E-07	0,181
50% kevlar 50% nomex KRN	7,179	50	24	0,0326	2,08	32,9	0,0638	0	0,135
85% para aramid 15% ina látka	9,6713	533	253,8	0,0522	2,1	144	0,0403	1,32E-07	0,235
100% carbon	6,194	79,9	82,4	0,0292	0,97	57,8	0,0331	2,63E-07	0,221
Aramid NT	7,498	50	30,5	0,0333	1,64	38,3	0,0492	7,88E-07	0,141
45% carbon 45% para aramid 10 iná látka	9,126	390,5	185,1	0,049	2,11	117	0,043	1,76E-07	0,217
KR 102 aramid. NT	8,476	100	46,7	0,0377	2,14	49,3	0,0567	6,04E-07	0,144
Netkaná aramidová textília	8,3166	96,5	44,1	0,0364	2,19	59,9	0,0601	3,74E-07	0,175
PBI+ netkaná textília	8,476	309,2	315,5	0,0385	0,98	170	0,0256	5,20E-08	0,5
Kermel	5,542	219,1	842,7	0,0189	0,26	200	0,0081	4,10E-08	0,606
Nomex 3001 NF	5,651	195,5	528,4	0,0359	0,37	165	0,0104	4,80E-08	0,46
PBI	6,194	203,9	443,3	0,037	0,46	156	0,0125	5,70E-08	0,418
Hovedzina lícovka 0,9-1,1 mm	11,301	621,5	403,6	0,046	1,54	211	0,0342	4,90E-08	0,54
Hovädzina štiepenka 0,9-1,1 mm	9,563	917,2	684,5	0,0697	1,34	320	0,0195	4,80E-08	0,536
Hydroföbna hovädzina lícovka 0,9-1,1 mm	12,171	559,5	307,5	0,0435	1,82	180	0,0417	6,00E-08	0,367
Techtan 0,9-1,1 mm	12,062	504,5	327,6	0,0427	1,54	198	0,0365	5,00E-08	0,521
Kozina	8,476	577	369,9	0,0389	1,56	161	0,0401	6,20E-08	0,295

Tab. 10 Analýza dát

stredná hodnota času [s]	m_o [kg.m⁻³]	m_p [g.m⁻²]	λ [Wm⁻¹.K⁻¹]	h [mm]	b [Wm⁻².s^{1/2}.K⁻¹]	r [Km².W⁻¹]	α [m².s⁻¹]	q [W.m⁻²]
5,542	842,7	219,1	0,0189	0,26	200	0,0081	0,000000041	0,606
5,651	528,4	195,5	0,0359	0,37	165	0,0104	0,000000048	0,46
6,194	443,3	203,9	0,037	0,46	156	0,0125	0,000000057	0,418
7,6353	401	196,5	0,0383	0,49	160	0,0128	0,000000059	0,411
7,824	289,4	222,8	0,0375	0,77	114	0,0205	0,000000109	0,326
6,194	82,4	79,9	0,0292	0,97	57,8	0,0331	0,000000263	0,221
8,476	315,5	309,2	0,0385	0,98	170	0,0256	0,000000052	0,5
9,563	684,5	917,2	0,0697	1,34	320	0,0195	0,000000048	0,536
7,715	141,3	195	0,0498	1,38	87,1	0,0277	0,000000328	0,228
6,846	121	175,5	0,051	1,45	95,5	0,0284	0,000000286	0,245
11,301	403,6	621,5	0,046	1,54	211	0,0342	0,000000049	0,54
12,062	327,6	504,5	0,0427	1,54	198	0,0365	0,00000005	0,521
8,476	369,9	577	0,0389	1,56	161	0,0401	0,000000062	0,295
10,876	181,3	290	0,0534	1,6	126	0,03	0,000000181	0,272
7,498	30,5	50	0,0333	1,64	38,3	0,0492	0,000000788	0,141

12,171	307,5	559,5	0,0435	1,82	180	0,0417	0,00000006	0,367
7,179	24	50	0,0326	2,08	32,9	0,0638	0	0,135
9,6713	253,8	533	0,0522	2,1	144	0,0403	0,000000132	0,235
9,126	185,1	390,5	0,049	2,11	117	0,043	0,000000176	0,217
8,476	46,7	100	0,0377	2,14	49,3	0,0567	0,000000604	0,144
8,3166	44,1	96,5	0,0364	2,19	59,9	0,0601	0,000000374	0,175
9,997	28,6	138,8	0,0386	4,85	46,6	0,126	0,000000687	0,181
F krit	Hodnota P	Hodnota P	Hodnota P	Hodnota P	Hodnota P	Hodnota P	Hodnota P	Hodnota P
4,072653663	1,11E-06	0,001724185	2,26182E-23	1,6327E-18	3,55425E-10	2,22638E-23	1,8755E-23	9,33353E-23

4.4 Návrh vlastnej skladby a materiálu

Pri návrhu vlastnej skladby materiálu na odolnosť proti sálavému teplu bolo brané na úvahu hrúbka celkovej skladby, ktorá nemôže byť veľmi vysoká lebo by ovplyvňovala úchopovú schopnosť a pohyb ruky v hasičských rukaviciach. V tabuľke 11 budú uvedené tri navrhnuté materiálové skladby, ich hrúbka a potrebný čas na nárast teploty kalorimetru o 12°C.

Tab. 11 Návrh vlastnej skladby materiálu

	h [mm]	priemer času [s]
1) 1.vrstva (podšívka) - 40% modakryl 60% bavlna 2.vrstva (membrána) - PU pena 3.vrstva (mezivrstva) - 50% kevlar 50% nomex 4.vrstva (vrchná vrstva) - Nomex	10	32,4
2) 1.vrstva (podšívka) - 100% bavlna 2.vrstva (membrána) - PU pena 3.vrstva (mezivrstva) - 45% uhlíkové vlákno, 45% para aramid 10% iná látka 4.vrstva (vrchná vrstva) - PBI+NT	10	36,1
3) 1.vrstva (podšívka) - kevlarová podšívka 2.vrstva (membrána) - PU pena 3.vrstva (mezivrstva) - 85% para aramid 15% iná látka 4.vrstva (vrchná vrstva) - Hovädzia štiepenka	12	40,1

Z troch navrhnutých skladiieb materiálu najlepšie vyhovovala posledná čiže 3) skladba. Táto skladba materiálu mala vyhovujúcu hrúbku celej skladby materiálu 12 mm. Taktiež táto skladba materiálu mala najlepší čas potrebný na nárast teploty kalorimetru o 12 °C. Z toho vyplýva, že na odolnosť proti sálavému teplu dokázala odolávať 40,1 s.

Následne bol navrhnutý materiál, ktorý firma Holík International s.r.o. na výrobu hasičských rukavíc nepoužíva. Navrhnutý bol materiál PBO, čo je polyfenylen benzobioxazol a je známy pod obchodnou značkou Zylon. Je ohňovzdorný pretože LOI dosahuje až 68% a tepelný odpor je 650°C. Má veľmi dobrú odolnosť proti sálavému teplu a tento materiál by zvýšil ochranu ruky proti sálavému teplu.

Ďalej bol navrhnutý iný ako doposiaľ používaný textilný materiál, ktorý by zvýšil účinnosť proti sálavému teplu. Navrhnutá bola reflexnej textílie, ktorou by sa

dosahovalo vyššej ochrany proti sálavému teplu. Princíp reflexnej textílie je v tom, že svojím povrchom, ktorý môže byť špeciálne upravený odráža sálavé teplo. Tento materiál by sa mohol použiť na celú vrchnú časť hasičskej rukavice alebo len na určitých miestach rukavice.

5 Diskusie a záver

Diskusia výsledkov

Na základe nameraných hodnôt na zariadení ALAMBETA sa odvíjalo vyhodnotenie výsledkov na odolnosť proti sálavému teplu. Z tabuľky 8 môžeme vidieť, že materiál s najmenšiu hrúbku 0,26 mm má potrebný čas pre nárast teploty v kalorimetre o 12 °C je 5,6 s. Najhrubší materiál má hrúbku 4,85 mm ale potrebný čas na nárast teploty kalorimetru je 9,9s. Najdlhší čas pre nárast teploty kalorimetru je 12,2 s a je to materiál, ktorý má hrúbku 1,82 mm. Z toho je zrejmé, že hrúbka vrstvy nie je hlavným faktorom, ktorý by určoval odolnosť voči sálavému teplu.

Pri porovnávaní hodnôt do grafov nebol vidieť žiadny trend preto sa urobila analýza dát – ANOVA. Analýza potvrdila, že hypotézy o závislosti jednotlivých parametrov sa zamietajú. Teda medzi nameranými parametrami nie je žiaden vzťah, nemajú na seba vplyv a nie sú na sebe závislé.

Pri návrhu vlastnej skladby materiálu na výrobu zásahových rukavíc bolo vyskúšaných tri druhy skladieb na odolnosť proti sálavému teplu. Najlepšie vyhovovala tretia posledná skladba, ktorá mala primeranú hrúbku 12 mm a potrebný čas na nárast teploty kalorimetru o 12°C dosahovala 40,1s (tab. 11). Je teda zrejmé, že z nameraných hodnôt jednotlivých materiálov možno vybrať vhodnú skladbu s dostatočnou odolnosťou proti sálavému teplu. Ďalej bol navrhnutý materiál, ktorý doposiaľ na výrobu hasičských rukavíc firma Holík nepoužíva. Tento materiál je známy pod obchodným názvom Zylon (PBO), je vysoko ohňovzdorný a odoláva teplotám až do 650°C. Zylon by sa pri výrobe hasičskej rukavice použil v 4.vrstve – vrchná časť rukavice. Tým by sa zvýšila účinnosť skladby nie len proti sálavému teplu.

Ďalej bola navrhnutá reflexná textília, ktorá by zaistila zvýšenú ochranu proti sálavému teplu vďaka schopnosti žiarenia odrážať a neprepúšťať teplo do ďalších vrstiev rukavice. Tento materiál môže mať špeciálnu povrchovú úpravu, ktorou odráža sálavé teplo a nedochádza tak k prehrievaniu celej rukavice. Textília by sa použila na

povrch 4.vrstvy – alebo medzi 3 a 4. vrstvou a to buď na celú plochu alebo len na určitých miestach.

Záver

Cieľom tejto práce bolo stanovenie odolnosti na sálavé teplo na materiáloch, ktoré sa používajú na výrobu zásahových hasičských rukavíc. V experimentálnej časti bolo cieľom zistiť odolnosť voči sálavému teplu. Na základe zistených nameraných a vyhodnotených výsledkov bola navrhnutá vlastná účinná skladba materiálu, ktorá by zvýšila ochranu proti sálavému teplu a vlastný navrhnutý materiál, ktorý by zvýšil účinnosť skladby materiálu na odolnosť proti sálavému teplu.

Materiály používané v tejto práci boli zaslané firmou Holík International s.r.o. Celkom sa jednalo o 22 rôznych materiálov. Vlastnosti jednotlivých vzoriek boli merané na dvoch meracích zariadeniach. Na zariadení ALAMBETA sa získavali základné parametre materiálov na mernú tepelnú vodivosť λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$], hrúbku textilného materiálu h [mm], tepelnú kapacitu b [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$], plošný odpor vedenia tepla r [$\text{W}^{-1}\cdot\text{K}\cdot\text{m}^2$], mernú tepelnú vodivosť α [$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$], tepelný tok q [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]. Na zariadení na sálavé teplo sa získavali hodnoty potrebné na odolnosť proti sálavému teplu. Nebol nalezený vzťah medzi jednotlivými parametrami. Získané namerané hodnoty boli analyticky vyhodnotené. Výsledkom analýzy bolo, že sa nezistila žiadna závislosť medzi nameranými hodnotami. Konečným záverom je, že z daných hodnôt nie sme schopný presne stanoviť koľko sekúnd bude materiál odolávať sálavému teplu.

Navrhnutý materiál sa týkal PBO, ktorý veľmi dobre odoláva vysokým teplotám, pri ktorých si zachováva svoju stabilitu a tým by zvýšil účinnosť skladby proti sálavému teplu. PBO materiál by sa pri výrobe hasičskej rukavice použil v 4.vrstve – vrchná časť rukavice.

Ďalší navrhnutý materiál bola reflexná textília, ktorá by pre rukavicu dosahovala zvýšenú ochranu na sálavé teplo. Materiál môže mať špeciálnu povrchovú úpravu, ktorá odráža sálavé teplo a nedochádza k prehrievaniu celej rukavice. Úprava sa môže týkať pokovovania materiálu alebo spracovaním kovovej sieťky do štruktúry textílie. Takto upravená textília sa môže použiť do 4.vrstvy – vrchná časť rukavice a to buď na celú plochu alebo len na určitých miestach.

Na výrobu hasičských rukavíc sú kladené vysoké požiadavky pretože sa s nimi pracuje v extrémnych podmienkach. Hlavným parametrom pri výrobe rukavíc je hrúbka

celkovej skladby materiálu, pretože je dôležité zachovanie úchopovej schopnosti v rukavici. Dôležitým parametrom už hotovej hasičskej rukavice je aby sa rukavica neprehrievala, čiže materiály by mali mať nízku tepelnú vodivosť a odolnosť proti radiácii.

6 Použitá literatura

- [1] Staněk J., *Textilní zbožíznalství : Vláknenné suroviny, příze a nite*. Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2002. ISBN 80-7083-555-9
- [2] Staněk J., Kovačič V., *Nauka o textilních materiálech. Díl 1., část 2., Struktura získávání a výroba vláken*, Liberec : VŠST, 1986
- [3] Hořlavost textílií [online]. 2011 [cit.2011-05-04]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Ho%C5%99lavost_textili%C3%AD>
- [4] Katedra textilních materiálů : *Textilné vlákna* [online]. 2011 [cit. 2011-05-04]. Studijní materiály. Dostupné z WWW: <http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20071113/TVN_prednaska_7.pdf>
- [5] Cotton fibers (bavlnené vlákna) [online]. 2011 [cit.2011-05-04]. Dostupné z WWW: <<http://www.engr.utk.edu/mse/Textiles/Cotton%20fibers.htm>>
- [6] Katedra textilních materiálů : *Syntetická vlákna* [online]. 2011 [cit. 2011-06-04]. Studijní materiály. Dostupné z WWW: <http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20061005/9-synteticka_vlakna.pdf>
- [7] Modacryl fibers [online]. 2011 [cit. 2011-06-04]. Dostupné z WWW: <http://218.189.210.187/ApparelKey/Document/Cate2/2.4/modacrylic_structure.htm>
- [8] Katedra textilní chemie : *Zušlechťování textílií* [online]. 2011[cit. 2011-06-04]. Studijní materiál. Dostupné z WWW: <<http://www.ft.tul.cz/depart/ktc/index.php?page=pedcin>>, Návodů 5
- [9] Polyester chemical structure [online]. 2011 [cit. 2011-06-04]. Dostupné z WWW: <<http://www.pslc.ws/macrogcss/pet.html>>
- [10] Jirsák O., *Netkané textilie*, Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2003. ISBN 80-7083-746-2
- [11] Polyurethanes [online]. 2011 [cit. 2011-06-04]. Dostupné z WWW: <<http://www.pslc.ws/macrogcss/urethane.html>>
- [12] Tepelné izolace [online]. 2011 [cit. 2011-06-04]. Dostupné z WWW: <http://istavitel.cz/clanek/izolace/tepelne-izolace/zakladni-prehled-tepelne-izolacnich-materialu_80>
- [13] Ducháček V., *Polyméry - výroba, vlastnosti, zpracování, použití*, Praha: VŠCHT 2006. ISBN 80-7080-617-6

- [14] Vlákná pro kompozity [online]. 2011 [cit. 2011-06-04]. Dostupné z WWW:
<<http://www.volny.cz/zkorinek/vlakna.pdf>>
- [15] Jacqueline I. Kroschwitz, Polymers – High performace polymers and composites, United States: John Wiley & Sons, Inc.1991. ISBN 0-471-54366-7
- [16] Uhlíkové vlákna [online]. 2011 [cit. 2011-08-04]. Dostupné z WWW:
<<http://www.vies.sk/uhlika/>>
- [17] LOI speciálních vláken [online]. 2011 [cit. 2011-08-04]. Dostupné z WWW:
<http://www.odetka.cz/net20/cz/specialni_vlakna.aspx>
- [18] Militký J., *Technické textilie*, Liberec: Technická univerzita v Liberci 2007. ISBN 978-80-7372-170-1
- [19] Materiálový sendvič [online]. 2011 [cit. 2011-08-04]. Dostupné z WWW:
<<http://www.holik-international.cz/zasahove-rukavice-pro-hasice-armadu-a-zachranare/technologie/materialovy-sandwich-zasahovych-rukavic/>>
- [20] Tomková R., Katedra textilních materiálů - Prednášky z předmětu Kompozity s textilní využití, *Textilní kompozity*
- [21] Aramid fibers [online]. 2011 [cit. 2011-09-04]. Dostupné z WWW:
<http://www.chem.uwec.edu/Chem405_S01/malenirf/project.html>
- [22] Kevlar [online]. 2011 [cit. 2011-08-04]. Dostupné z WWW:
<http://www.firelovers.cz/clanky2.php?pod_sekce=868&sekce=8+>>
- [23] Nomex, Kevlar, Kermel [online]. 2011 [cit. 2011-09-04]. Dostupné z WWW:
<http://www.marexim.cz/index.php?action=10101&id_hm=46&id_hm2=26>
- [24] Kermel [online]. 2011 [cit. 2011-09-04]. Dostupné z WWW:
<<http://www.love4aviation.com/Apparel/Kermel+Fibre.html>>
- [25] PBI vlákna [online]. 2011 [cit. 2011-09-04]. Dostupné z WWW:
<http://translate.google.com/translate?hl=sk&langpair=en|sk&u=http://en.wikipedia.org/wiki/Polybenzimidazole_fiber>
- [26] Chemical ctructure PBI fibers [online]. 2011 [cit. 2011-10-04]. Dostupné z WWW: <<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:PBI-Condensation.png>>
- [27] PBO fibers [online]. 2011 [cit. 2011-10-04]. Dostupné z WWW:
<<http://www.toyobo.co.jp/e/seihin/kc/pbo/technical.pdf>>
- [28] PBO vlákna [online]. 2011 [cit. 2011-10-04]. Dostupné z WWW:
<<http://en.wikipedia.org/wiki/Zylon>>
- [29] Melaminové vlákna [online]. 2011 [cit. 2011-11-04]. Dostupné z WWW:
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Melaminov%C3%A1_vl%C3%A1kna>

- [30] Melamine fiber [online]. 2011 [cit. 2011-11-04]. Dostupné z WWW:
<http://www.eftfibers.com/prod_melamine.php>
- [31] Kynol fiber [online]. 2011 [cit. 2011-11-04]. Dostupné z WWW:
<<http://www.kynol.com/NewFiles/kynol%20fibers%20with%20pics.html>>
- [32] ISO 9001:2000 ochrana rúk [online]. 2011 [cit. 2011-11-04]. Dostupné z WWW: <<http://www.solik.sk/assets/katalog/04-Ochranne-pracovne-prostriedky/2.pdf>>
- [33] Haviar Š., *Textilné zbožížnalstvi, kúže, usně, kožešiny a kožené výrovky*, Liberec: Technická univerzita v Liberci 2006. ISBN 80-7372-144-9
- [34] High tech tan [online]. 2011 [cit. 2011-11-04]. Dostupné z WWW:
<<http://textiles.zibb.com/trademark/high-tech tan/31019015>>
- [35] Technické a žiaruvzdorné textílie [online]. 2011 [cit. 2011-11-04]. Dostupné z WWW: <<http://www.safepro.sk/fileadmin/produkty/m.pdf>>
- [36] Tepelné riziká [online]. 2011 [cit. 2011-12-04]. Dostupné z WWW:
<<http://www.safepro.sk/tepelne-rizika/>>
- [37] Kermel – PAI [online]. 2011 [cit. 2011-12-04]. Dostupné z WWW:
<http://www.mecadi.com/en/literature_tools/encyclopedia/categorial/Thermoplastic/Polyamide-Imide_PAI/>
- [38] Hes L., *Úvod do komfortu textílií*, Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2005. ISBN 80-7083-926-0
- [39] Vedenie tepla [online]. 2011 [cit. 2011-12-04]. Dostupné z WWW:
<http://sk.wikipedia.org/wiki/Vedenie_tepla>
- [40] Prúdenie tepla [online]. 2011 [cit. 2011-14-04]. Dostupné z WWW:
<http://sk.wikipedia.org/wiki/Pr%C3%BAdenie_tepla<
- [41] Radiácia [online]. 2011 [cit. 2011-14-04]. Dostupné z WWW:
<<http://sk.wikipedia.org/wiki/S%C3%A1llanie>>
- [42] Bláha A., *Procesní inžernýrství I, II* pro kombinované studium. Studijní materiál.
- [43] Růžičková D., *Oděvní materiály*, Liberec: Technická univerzita v Liberci 2003. ISBN 80-7083-682-2
- [44] Česká technická norma, ČSN EN 407, 83 2326, Ochranné rukavice proti tepelným rizikům (teplu a/nebo ohni)
- [45] Česká technická norma, ČSN EN 659+A1 83 2366, Ochranné rukavice pro hasiče

- [46] Interní norma č. 23-303-01/01, Zjišťování stupně vlhkostní jímavosti textilií
- [47] Česká technická norma, ČSN EN ISO 6942, 83 2744, Ochranné oděvy –
ochrana proti teple a ohni – Zkušební metoda: hodnocení materiálu a
kombinací materiálů vystavených sálavému teple

7 Príloha

Vzorky materiálov – Príloha 1



Twaron195g/m²



Aramid NT 50g



KR 102 aramid. NT 100g/m²



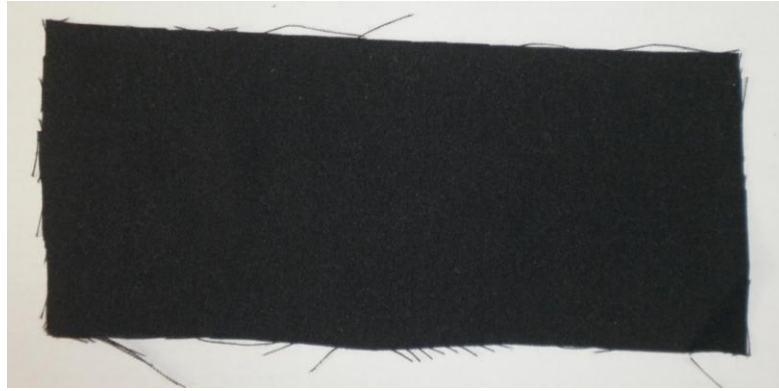
50% Kevlar 50% Nomex KRN 50



Kevlarová podšívka 175,5 g/m²



Kermel 219,1 g/m²



Nomex 3001 NF 195,5 g/m²



100% carbon 79,9 g/m²



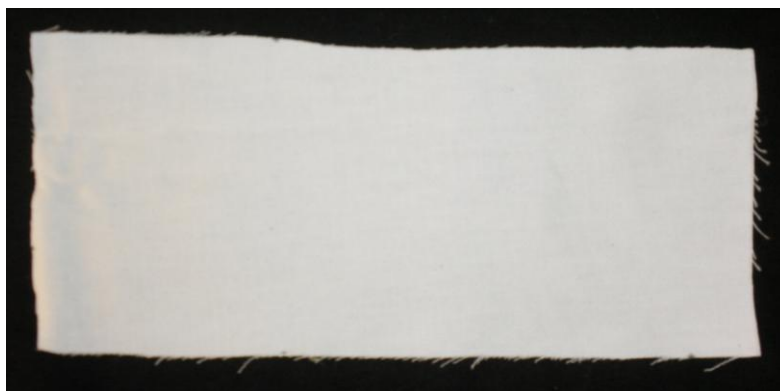
PES Coolmax 222,8 g/m²



PBI + netkaná textília 309,2 g/m²



PBI 203,9 g/m²



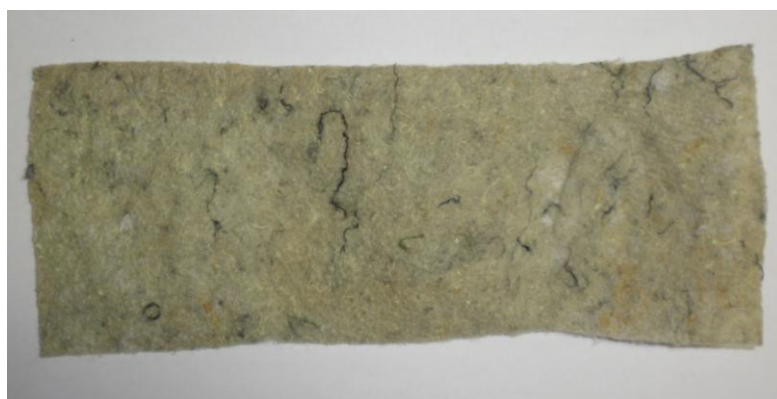
100% bavlna 196,5 g/m²



85% para aramid 15% jiný látky 533 g/m²



45% carbon 45% para aramid 10% jiná látka 390,5 g/m²



Net. Aramidová textilie 96,5 g/m²



P11pena (molitan) 138,8 g/m²



Membrána



Hydrofobna hověž. lícovka 0,9-1,1 mm, 559,5 g/m²



Hověz. štípenka 0,9-1,1 mm, 917,2 g/m²



Hověz. lícovka 0,9-1,1 mm, 621,5 g/m²



Kozina 577 g/m²

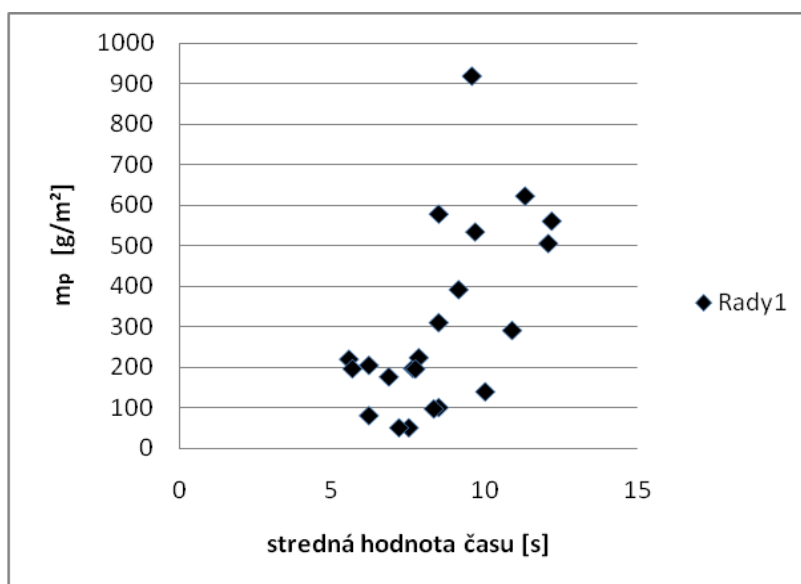


Techtan 0,9-1,1 mm, 504,5 g/m²

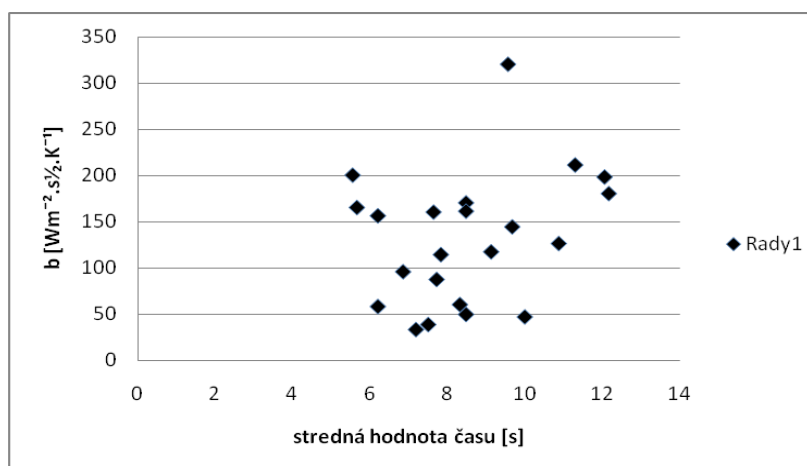


40% modakryl 60% bavlna

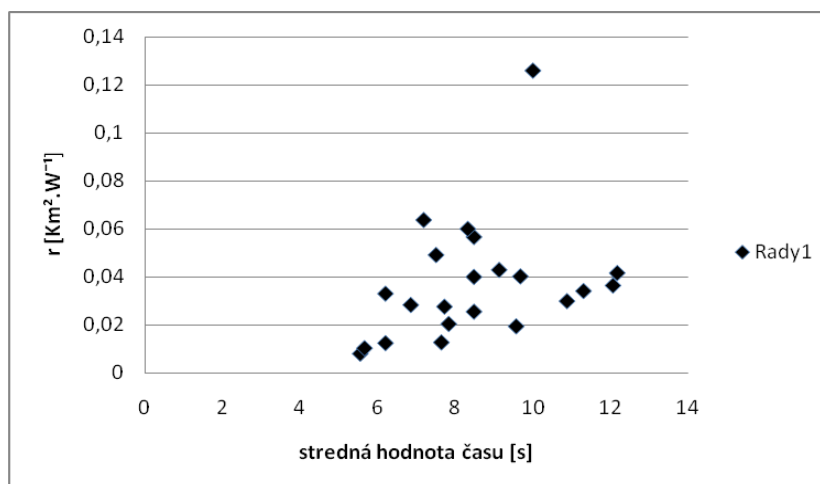
Grafy – Príloha 2



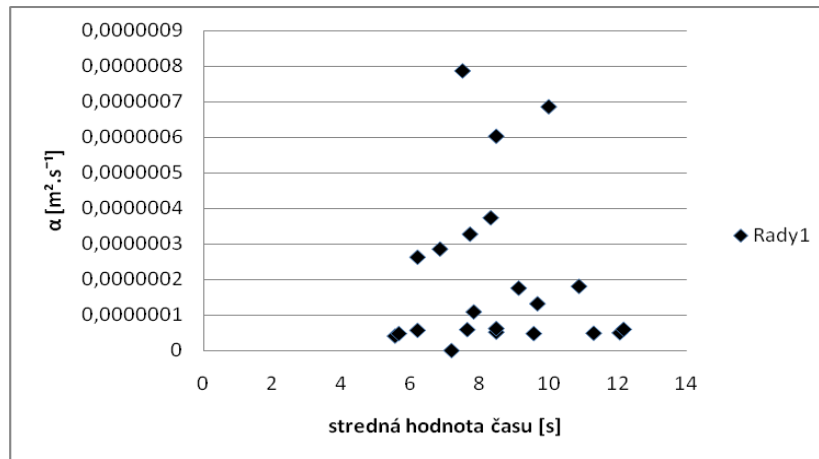
Graf porovnania strednej hodnoty času a plošnej hmotnosti materiálov



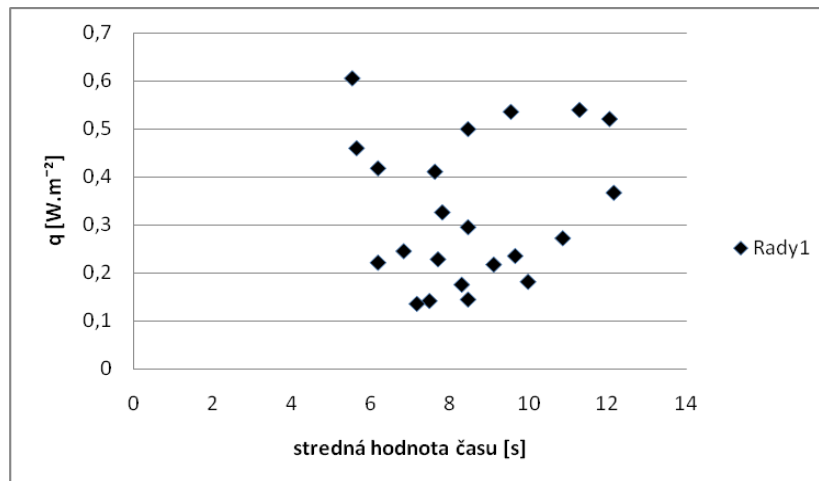
Graf porovnania strednej hodnoty času a tepelnej kapacity materiálov



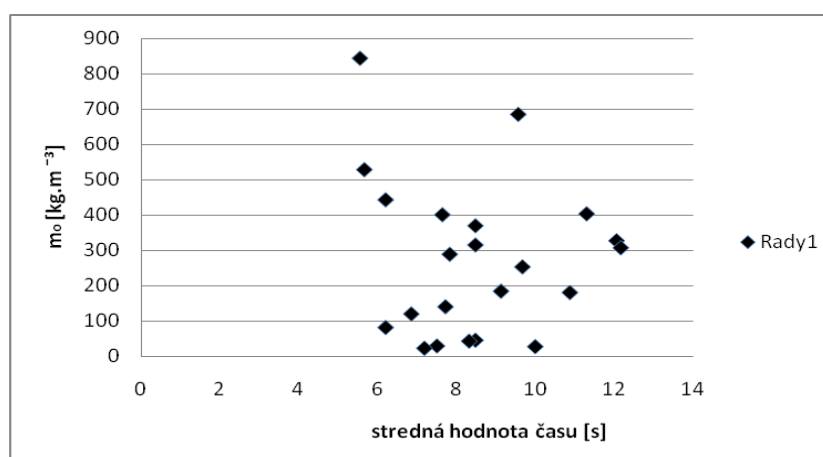
Graf porovnania strednej hodnoty času a plošného odporu vedenia tepla



Graf porovnania strednej hodnoty času a mernej tepelnej vodivosti



Graf porovnania strednej hodnoty času a tepelného toku



Graf porovnania strednej hodnoty času a objemovej hmotnosti materiálov

